

**Modifizierte Methodik der Zahnreplantation:  
Histologische und röntgenologische  
Ergebnisse  
am Tiermodell**

Sabine Remensberger  
2004

Aus dem Zentrum der  
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Carolinum)  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
Direktor: Prof. Dr. H.-Ch. Lauer

**Modifizierte Methodik der Zahnreplantation:  
Histologische und röntgenologische Ergebnisse  
am Tiermodell**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin  
des Fachbereiches Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main

vorgelegt von  
Sabine Remensberger  
aus  
Weingarten

Frankfurt am Main,  
2004

Dekan:	Prof. Dr. J.M. Pfeilschifter
Referent:	Prof. Dr. H.-C. Lauer
Korreferent:	Prof. Dr. Detlef Heidemann
Tag der mündlichen Prüfung:	01.12.2004

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODE.....</b>	<b>9</b>
2.1	VERSUCHSPLANUNG .....	9
2.1.1	<i>Versuchstier .....</i>	9
2.1.2	<i>split-mouth Design .....</i>	9
2.1.3	<i>Operationsplan.....</i>	10
2.1.4	<i>Operationsaufbau .....</i>	12
2.2	RÖNTGENOLOGIE .....	14
2.2.1	<i>Herstellung der Röntgenbilder .....</i>	14
2.2.2	<i>Auswertung der Röntgenbilder.....</i>	14
2.3	HISTOLOGISCHE PRÄPARATE.....	15
2.3.1	<i>Kiefertrennung und -einbettung.....</i>	15
2.3.2	<i>Einbetten der Zahnpräparate .....</i>	16
2.3.3	<i>Herstellung der histologischen Dünnschnittpräparate .....</i>	18
2.4	HISTOMORPHOLOGISCHES AUSWERTEVERFAHREN.....	23
2.4.1	<i>Mikroskop.....</i>	23
2.4.2	<i>Definition reproduzierbarer Auswertungsareale des Desmodonts .....</i>	23
2.4.3	<i>Klassifizierungskriterien für den Zustand des Desmodonts.....</i>	24
2.4.4	<i>Darstellung der Strukturen in der Masson-Goldner-Färbung .....</i>	25
2.4.5	<i>Schnittebenen .....</i>	26
2.5	STATISTISCHE AUSWERTEVERFAHREN .....	26
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>26</b>
3.1	HISTOLOGISCHE AUSWERTUNG .....	26
3.1.1	<i>Berechnung des Klassifizierungsmittelwertes pro Wurzel.....</i>	26
3.1.2	<i>Berechnung der schlechtesten Klassifizierung pro Wurzel .....</i>	26
3.1.3	<i>Statistische Analyse des Klassifizierungsmittelwertes pro Wurzel .....</i>	29
3.1.4	<i>Statistische Analyse der schlechtesten Klassifizierung pro Wurzel.....</i>	30
3.2	AUSWERTUNG DER RÖNTGENBILDER .....	32
3.2.1	<i>Statistische Analyse der radiologischen Bewertung.....</i>	34
3.3	VERGLEICH HISTOLOGIE UND RADIOLOGIE.....	35
<b>4</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>40</b>
4.1	STATISTISCHE ANALYSE DER HISTOLOGISCHEN ERGEBNISSE .....	40
4.2	STATISTISCHE ANALYSE DER RÖNTGENBILDAUSWERTUNG.....	40
4.3	EINZELVERGLEICHE ZWISCHEN RÖNTGENBILD UND HISTOLOGIEBEFUND .....	41
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG / CONCLUSION.....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>53</b>
	ZUSAMMENSETZUNG DES NÄHRMEDIUMS $\alpha$ -MEM:.....	53
	<b>CURRICULUM VITAE .....</b>	<b>55</b>
	<b>DANKSAGUNG.....</b>	<b>57</b>
	<b>EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG.....</b>	<b>58</b>

## Verzeichnis der Abbildungen:

Abb. 1:	split mouth Design	10
Abb. 2:	Repladent® - Gerät	13
Abb. 3:	Nährmedium	13
Abb. 4:	Herausgetrenntes Kiefersegment	16
Abb. 5:	In MMA eingebetteter Molar mit drei Wurzeln	17
Abb. 6:	Polycut-Mikrotom	19
Abb. 7:	Manuelles Abheben der Dünnschnitte am Mikrotom	20
Abb. 8:	Auswertungsareale des Desmodonts am Wurzelquerschnitt	24
Abb. 9a:	Röntgenbild Tier A, Zahn 26, Resorption an pal. Wurzel	35
Abb. 9b:	Histologie, Tier A, Zahn 26, pal. Wurzel mit Resorptionslakune	36
Abb. 9c:	Histologie, Tier A, Zahn 26, pal. Wurzel mit Resorpt., Code 3	36
Abb. 10a:	Röntgenbild Tier A, Zahn 47, periradik. Aufhellung mes. Wurzel	37
Abb. 10b:	Histologie, Tier A, Zahn 47, mes. Wurzel, Entzündung, Code 5	37
Abb. 11a:	Röntgenbild Tier B, Zahn 44, distale Wurzel, Code 1	38
Abb. 11b:	Histologie, Tier B, Zahn 44, distale Wurzel, Code 1	38
Abb. 11c:	Histologie, Tier B, Zahn 44, distale Wurzel, Code 3 + 4	39

## Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1 :	Histologische Bewertung der Zahnwurzeln	27
Tab. 2 :	Radiologische Bewertung der Zahnwurzeln	33

# 1 Einleitung

Die Replantation eines Zahnes definiert ein „Wiedereinsetzen“ eines totalluxierten Zahnes an seinen ursprünglichen Ort.

Der Erfolg einer Reimplantation ist laut ANDREASEN [9] und AXHAUSEN [19] entscheidend vom Zustand des Desmodonts abhängig. Nur eine intakte und vitale Wurzelhaut führt zu einer Heilung ohne Wurzelresorption und damit zu einer „Restitutio ad integrum“. Eine Verbesserung der Methodik der Reimplantation muss deshalb zellbiologische Grundlagen für den Erhalt des Desmodonts im stärkeren Masse berücksichtigen. Untersuchungen und Untersuchungsmethodiken müssen daher klar formuliert und nachvollziehbar sein.

Verschiedene Arbeitsgruppen haben in der Vergangenheit Grundlagenforschung betrieben, die Einheilchancen von replantierten Zähnen zu verbessern. Dabei wurden zum Beispiel die Revaskularisierung am offenen Foramen apicale [62], verschiedene Wurzelfüllmaterialien [16], die Auswirkung einer Schienung [7] und die Notwendigkeit einer endodontischen Behandlung [11] untersucht. Zudem wurde die Replantation systematisch in tierexperimentellen Studien evaluiert. Insbesondere die Arbeitsgruppe von ANDREASEN [4, 5, 11, 12, 13, 15, 16, 18] nutzte das Tiermodell für histologische Untersuchungen. Das Versuchsdesign beschränkte sich aber ausschließlich auf Frontzähne.

Frontzähne erleiden nämlich bei Unfällen – insbesondere bei Unfällen von Kindern – neben Kronen- und Wurzelfrakturen auch Totalluxationen. Hier besteht die Möglichkeit einer möglichst zeitnahen Reimplantation eines gegebenenfalls mit Flüssigkeit schonend gesäuberten Zahnes. Die Zahl der überlebenden Desmodontalzellen nimmt exponentiell mit der Zeit ab, in der ein Zahn unversorgt extraalveolär bleibt [20, 5]. Da sich Unfälle üblicherweise nicht in unmittelbarer Nähe einer zahnärztlichen Praxis ereignen, ist die Therapie der Wahl eine sofortige Reimplantation des Zahnes am Unfallort. Die endodontische Behandlung erfolgt dann im Laufe der nächsten sechs bis zehn Wochen [1]. Die Replantation nach traumatischem Zahnverlust ist daher als eine ungeplante, sofortige und von den jeweiligen Umständen des Notfalls abhängige Therapiemassnahme zu betrachten. Die Replantationsmethodik spielt deshalb eine untergeordnete Rolle.

Demgegenüber steht der geplante Eingriff einer Replantation, wenn andere Therapiemassnahmen nicht zum gewünschten Erfolg führen. Insbesondere im Seitenzahnbereich sind bei starken Wurzelkrümmungen, extremem Würgereiz oder eingeschränkter Mundöffnung suffiziente endodontische Behandlungen nicht möglich. Weitere Indikationen für eine Reimplantation sind neben einem fälschlicherweise extrahierten Zahn vor allem risikoreiche oder undurchführbare Wurzelspitzenresektion. Insbesondere die Resektion der palatinalen Wurzel des zweiten Molaren im Oberkiefer birgt durch die Nähe des Foramen palatinum major das grosse Risiko einer Verletzung der Arteria palatina major. Dies kann zum Zurückziehen der Arteria in die Fossa pterygopalatina führen. Eine Blutung in die Fossa ist hier unter Umständen nicht zu stoppen. Im Unterkiefer kann die anatomische Nachbarschaft des canalis mandibulae und der Wurzelspitzen postoperative Sensibilitätsstörungen verursachen, die zeitlebens bestehen bleiben können [69]. Die Dicke der mandibulären Knochenspanne führt bei Resektion der zweiten Unterkiefermolaren oft zu erheblichen Knochenverlusten und –defekten [69]. Auch finanzielle Gründe können für eine Replantation anstatt einer Brücken- oder Implantatversorgung sprechen. Eine geplante Replantation kann nach ganz

anderen Gesichtspunkten durchgeführt werden als eine nach einem Trauma indizierte Replantation. Die erfolgsbeeinflussenden Faktoren Zeit und Kontamination können durch optimierte und innovative Therapieregime reproduzierbar beherrscht werden.

Eine von diesen optimierten und innovativen Therapieregimen basiert auf einer Entwicklung von LAUER [71,72,73,74,75,76,77]. Eine spezielle Zahnhaltevorrichtung - ReplaDent® - fixiert den Zahn in der extraoralen Therapiephase sicher und ermöglicht dabei eine permanente Ernährung der Desmodontalfibroblasten auf der Wurzeloberfläche. Das gelartige Nährmedium  $\alpha$ -MEM verlängert die extraorale Lebensdauer der Desmodontalzellen. Es enthält außer Aminosäuren, Vitamine, Salze und Glucose noch Streptomycin und Penicillin [79,80] und wird im ReplaDent®-Gerät gekühlt. Durch die herabgesetzte Temperatur verlangsamen sich die degenerativen Prozesse in den Desmodontalzellen. Zudem wechselt das Nährmedium vom flüssigen in den Gelzustand. Der Gelzustand des Nährmediums schafft eine optimale Zugänglichkeit des fixierten Zahnes für die extraorale endodontische Behandlung und Wurzelspitzenresektion [75].

Ziel dieser tierexperimentellen Untersuchung war, die innovative Replantationsmethodik nach LAUER mit dem konventionellen therapeutischen Vorgehen zu vergleichen. Bei letzterer wird der Zahn mit der Hand und einem feuchten Tupfer fixiert und mit physiologischer Kochsalzlösung beträufelt. Obwohl fast alle tierexperimentellen Untersuchungen an Frontzähnen erfolgten, sind in dieser Arbeit Seitenzähne verwendet worden. Zum einen werden bei geplanten Reimplantationen fast ausschließlich Seitenzähne therapiert, zum anderen können Ergebnisse von Frontzähnen wegen der geringen Kaubelastung nicht auf den Seitenzahnbereich übertragen werden. Die beiden Therapieverfahren wurden anhand histologischer Präparate verglichen, deren Auswertung auf eine funktionelle Beurteilung des Desmodontalgewebes basiert. Zudem wurden Röntgenbilder angefertigt, um eventuelle Korrelationen zwischen histologischen und radiologischen Befunden evaluieren zu können.

## 2 Material und Methode

Die Methodik dieser Arbeit umfasst eine am Tier durchgeführte Zahnreplantation, die anhand von Röntgenbildern und histologischen Präparaten ausgewertet wurden.

### 2.1 Versuchsplanung

#### 2.1.1 Versuchstier

Als Versuchstiere wurden zwei Primaten der Gattung „Mantelpavian“ (*Papio comopithecus*) ausgewählt. Sie wurden für medizinische Experimente in der Münchner Ludwig-Maximilians-Universitätsklinik gezüchtet und gehalten.

Folgende Vorteile gegenüber anderen Versuchstieren zeigen Mantelpaviane:

1. Strukturelle Ähnlichkeit zu menschlichen Zähnen: Die Verteilung des zellulär-fibrillären, azellulär-fibrillären und azellulär-afibrillären Zements ist dem des Menschen sehr ähnlich [49].
2. Ähnlichkeit des orofacialen Systems: Die Dentinbildung erfolgt analog der des Menschen [49].
3. Umfangreiche Vorkenntnisse: Die Reparaturmechanismen nach Replantationen wurden am Mantelpavian schon ausführlich untersucht [9, 26].

Für sämtliche Vor- und Zwischenuntersuchungen müssen die Versuchstiere betäubt werden. Erst die Opferung der Tiere ermöglicht die geplante histologische Auswertung, die aussagekräftige Daten zur Replantationsmethodik liefert. Auf belastende Untersuchungen im Sinne des Tierschutzes konnte während der Einheilphase der Zähne verzichtet werden. Die Anzahl der Betäubungen konnte dadurch auf das Minimum reduziert werden.

#### 2.1.2 split-mouth Design

Folgende unterschiedliche Versuchsdesigns stehen zur Auswahl:

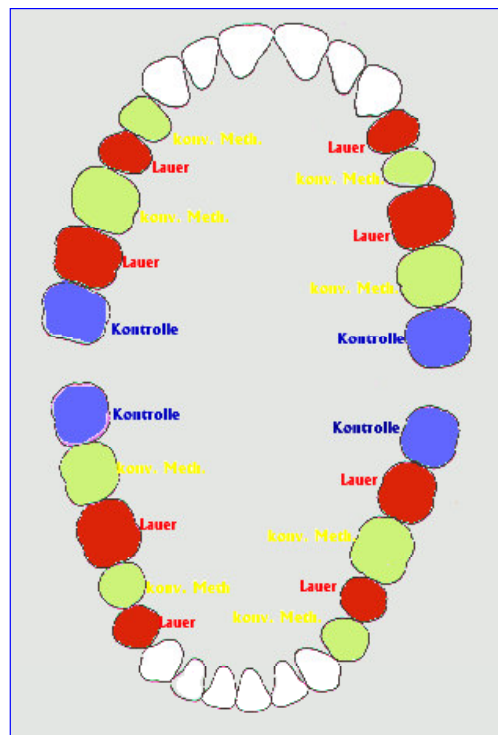
1. Zwei Tiergruppen werden nebeneinander mit zwei verschiedenen Methoden behandelt. Die Ergebnisse werden jedoch durch viele Faktoren zusätzlich beeinflusst. Zu diesen Faktoren zählen z.B. Knochenqualität, Einheilungsfähigkeit, Anatomie der Zähne, Immunsystem, Futteraufnahme, Parodontalstatus und Mundflora. Durch die Verschiedenheit der Tiere und damit dieser Faktoren wird die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Replantationsmethoden erschwert. Erst eine sehr hohe Zahl an Versuchstieren kann den Einfluss dieser Faktoren statistisch eliminieren.
2. An einem Tier werden zwei Methoden angewandt und miteinander verglichen. Man nennt dieses Versuchsdesign in der Zahnheilkunde auch Split-mouth-design oder auch gekreuztes Versuchsdesign. In der vorliegenden Arbeit sind dies die konventionelle Replantationsmethode und die modifizierte Methode nach LAUER [71-82]. Faktoren wie Knochenqualität, Einheilungsfähigkeit, Anatomie der Zähne, Immunsystem, Futteraufnahme, Parodontalstatus und Mundflora können den Vergleich beider Methoden dadurch nicht beeinflussen. Ein Tier dient sich selbst zur Kontrolle.

Dieses gekreuzte Versuchsdesign ist in dieser Studie möglich durch die anatomische Anordnung der Zähne. Jeder Zahn ist eine Einheit für sich. Im Falle



eines Misserfolges oder eines Zahnverlustes wird der Nachbarzahn nicht unmittelbar beeinflusst. Nur bei systemischen Erkrankungen würde eventuell das gesamte Parodontium erkranken, was aber wiederum beide Replantationsmethoden gleichzeitig und in gleicher Verteilung treffen würde.

Die Arbeitsgruppe um ANDREASEN [3,7,8,11,12,13,26,35,35] replantierte ausschliesslich Frontzähne an Primaten. Die Problematik von endodontisch nicht zu beherrschenden Wurzelkonfiguration tritt aber beim Menschen vor allem im Seitenzahnbereich auf. Gerade hier ist eine geplante Replantation oft notwendig. Daher wurden in dieser Studie nur Seitenzähne replantiert. Die beiden Prämolaren, der erste und der zweite Molar wurden entweder mit der konventionellen Methode oder mit der Methode nach Lauer behandelt. Die dritten Molaren (18/28/38/48) wurden nicht replantiert und dienten zur Kontrolle. Somit ergibt sich folgendes gekreuztes Versuchsdesign:



**Abb. 1: split-mouth Design**

Diese Anordnung der im Versuch verwendeten Zähne wird auch als balanciertes Versuchsdesign bezeichnet. Der Einfluss der intra- und interindividuellen biologischen Variabilität auf die Behandlungsergebnisse beider Methoden wird mit diesem balancierten, paarweise gekreuzten Versuchsdesign vermieden.

### 2.1.3 Operationsplan

Die Replantationen wurden an zwei Primaten (Paviane) ausgeführt. Beide Paviane – hier bezeichnet als Tier A und Tier B - wurden an denselben Zähnen mit derselben Methode replantiert (Abb.1). Die ersten Prämolaren im ersten Kieferquadranten wurden z.B. bei beiden Tieren nach dem neuen Verfahren

replantiert, die zweiten Prämolaren des ersten Quadranten nach der konventionellen Methode. Der Operationsplan wurde wie folgt festgelegt:

- Tag x**                      Klinische Untersuchung beider Tiere:
- Zahnfleischtaschen
  - Sulcus-Blutungs-Index
  - Plaque-Index
  - Röntgenstatus
  - Periotest-Werte
- x + 9 Tage**              Replantation der vier Seitenzähne im ersten und vierten Quadranten bei Versuchstier A und Versuchstier B
- x + 19 Tage**             Replantation der vier Seitenzähne im zweiten und dritten Quadranten bei Versuchstier A und Versuchstier B
- x + 82 Tage**            Opferung beider Versuchstiere

#### Zahnfleischtaschen:

Der Abstand vom Gingivalsaum bis zum Fundus der Zahnfleischtasche [61] definiert die Taschentiefe, die mit einer Parodontalsonde mit Millimeter-Kalibrierung gemessen wurde. Pro Zahn wurden vier Messpunkte (mesial und distal approximal, oral und vestibulär) erhoben.

Die physiologische Taschentiefe beträgt zwei bis drei Millimeter. Eine vergrößerte Taschentiefe kann durch einen Knochenabbau und/oder durch eine, meist entzündlich bedingte Schwellung der Gingiva resultieren. Die Messung der Taschentiefe mit einer Parodontalsonde gibt allerdings den tatsächlichen Attachmentverlust fehlerhaft wieder, wenn Rezessionen und Gingivahyperplasien nicht berücksichtigt werden. Daher sind zusätzliche klinische Befunde für die Evaluation des Verlustes an parodontalem Stützgewebe notwendig.

#### Sulcus-Blutung-Index:

Der Sulcus-Blutungs-Index (SBI) wurde nach MÜHLEMANN und SON [61] erhoben. Der SBI gibt den Grad der Entzündung der Gingiva, beziehungsweise des Parodonts an.

Für die Untersuchung wird mit einer Parodontalsonde vorsichtig in den mesialen Approximalraum eines Zahnes eingegangen. Mit geringem Druck wird die abgerundete Sondenspitze entlang des Zahnhalses im Sulcus bis zur Mitte des Zahnes entlanggeführt. Bei einer vorliegenden Entzündung wird dabei eine Sulcusblutung provoziert. Im ersten und dritten Quadranten wird der SBI vestibulär, im zweiten und vierten Quadranten oral erhoben. Das Verhältnis aller Messwerte mit Blutung zur Anzahl aller Messpunkte definiert den SBI.

Zudem wurde folgender Index von MÜHLEMANN und SON [61] zur Klassifizierung des Parodontalzustandes eingeführt:

- Grad 1:**                keine Farb- und Formveränderung
- Grad 2:**                Farbveränderung, keine Formveränderung, Blutung bei Sondierung
- Grad 3:**                Grad 2 und leichte ödematöse Schwellung
- Grad 4:**                Grad 3 und stärkere entzündliche Verdickungen
- Grad 5:**                Grad 4 und spontane Blutungen, eventuell Ulzerationen [105].

### Plaque-Index:

Der Plaque-Index wurde ebenfalls vereinfacht nach MÜHLEMANN und SON erhoben. Dabei wurden im ersten und dritten Quadranten die oralen Zahnflächen und im zweiten und vierten Quadranten die vestibulären Zahnflächen auf das Vorhandensein von Belägen untersucht. Die Summe aller positiven Messwerte im Verhältnis zur Zahl der Gesamtmesspunkte berechnet den Plaque-Index.

### Periotest-Werte:

SCHULTE et al. entwickelten 1981 ein elektronisches Gerät zur objektiven Erfassung von Zahnlockerungen (Periotest®, Siemens, Bensheim) [31]. Beim Periotestverfahren perkutiert ein elektronischer Stößel 16 mal den zu untersuchenden Zahn (viermal pro Sekunde). Die Dämpfungsgrade der Perkussion werden einer mathematisch berechneten numerischen Scala, die von –8 bis +50 reicht, zugeordnet:

–8 bis +9	physiologische Beweglichkeit	Lockerungsgrad 0
+10 bis +19	fühlbare Beweglichkeit	Lockerungsgrad I
+20 bis +29	sichtbare Beweglichkeit	Lockerungsgrad II
+30 bis +50	starke Beweglichkeit	Lockerungsgrad III

Ankylotischen Zähnen werden dabei die Zahlenwerte –5 bis –8 zugeordnet.

### *2.1.4 Operationsaufbau*

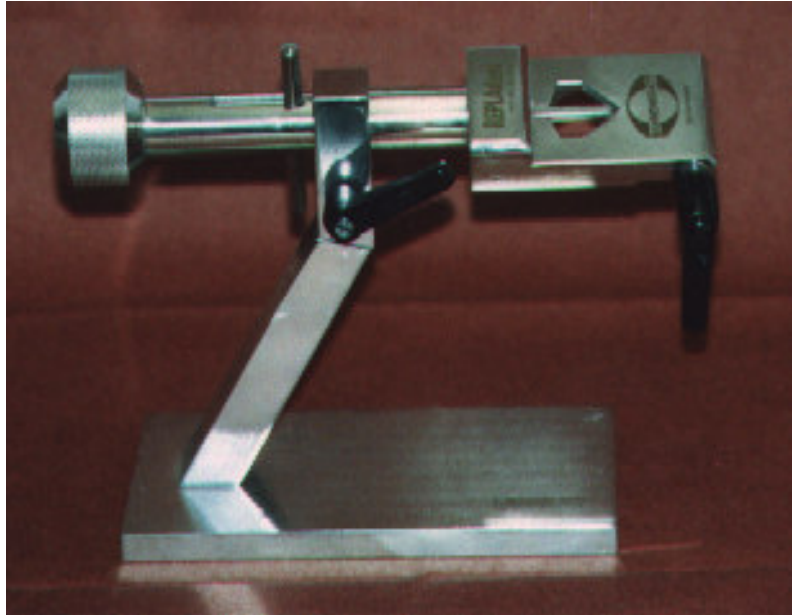
Die Primatenabteilung des Tierversuchslabors der LMU München ist mit einem Operationsraum ausgestattet. Ein Veterinärmediziner übernahm vorschriftsgemäss während der Zahnreplantationen die Aufsicht.

Das Versuchstier wurde bereits im Käfig mit Ketamin-HCl und Metamizol sediert. Im Operationsraum wurde das Tier aus Sicherheitsgründen auf der Operationsliege mit Gurten fixiert. Das Operationsteam versuchte, trotz Nähe zu den Tierstallungen, praxisähnliche sterile Kautelen zu erreichen. Es wurde mit sterilen Instrumenten auf sterilen Operationstüchern gearbeitet. Der Mund der Versuchstiere wurde vor dem Eingriff bakteriostatisch und bakterizid mit Chlorhexidin-Digluconat-Lösung (Chlorhexamed®, Blend-a-med) abgetupft.

Die zu behandelnden Zähne wurden anästhesiert (Xylocain® 2%, Astra Chemicals) und extrahiert. Während der extraoralen Phase der Reimplantation wurden die Zähne entsprechend ihrer Zuordnung entweder der Methode nach Lauer oder der konventionellen Methode zugeführt. Bei beiden Methoden wurde die Wurzelkanalfüllung mit Guttaperchaspitzen (Roeko, Langenau) und dem Sealer Diaket® (3M Espe, Seefeld) in der Single-Cone-Technik nach einer Spülung mit Natriumhypochlorid 1% durchgeführt. Die Zugangskavität wurde mit einem makrogefüllten, chemisch härtenden Komposit (Adaptic®, Johnson und Johnson, USA) verschlossen.

### Replantationsmethode nach Lauer:

Der zu replantierende Zahn wird in eine spezielle Haltevorrichtung – dem ReplaDent® - eingespannt. Durch diese Vorrichtung wird der Zahn sicher fixiert und gleichzeitig in ein gekühltes, gelartiges Nährmedium eingebettet. Aufgrund dieser festen Einbettung besteht zum Zahn sowohl ein retrograder Zugang an den Wurzelspitzen als auch ein Zugang über die Trepanationsöffnung [74, 75]:



**Abb. 2: ReplaDent®-Gerät**

Die Wurzelhaut des Zahnes wird von einem synthetischen Nährmedium namens  $\alpha$ -MEM [78] umgeben. Das Nährmedium setzt sich aus organischen Salzen, Aminosäuren und Vitaminen zusammen. Die beigemischten Antibiotika dienen zur Hemmung Abtötung von Bakterien, Pilzen und Protozoen. Die exakte Zusammensetzung des Nährmediums ist im Anhang aufgelistet.



**Abb. 3: Nährmedium**

Dieses Nährmedium besteht aus zwei Komponenten:

- Lösung A:  $\alpha$ -MEM 2-fach Medium
- Lösung B: verfestigter Agar in Zellkulturqualität

Um die beiden Komponenten A und B homogen mischen zu können, muss Lösung B erst auf 95°C erhitzt werden, um das Gel wieder in einen flüssigen Zustand zu bringen. Lösung A wird auf 50°C erhitzt und ist bei dieser Temperatur in der ebenfalls auf 50°C abgekühlten Lösung B lösbar. Das Gemisch ist bei 50°C noch im flüssigen Zustand. Der Agar geliert bei einer Abkühlung unter 45°C. Die Abkühlung kann durch Anschluss des ReplaDent®-Gerätes an die Hydrokolloidtechnik des zahnärztlichen Behandlungsstuhles erreicht werden. Die Kühlung beginnt bei Einschalten der Wasserzirkulation [76].

#### Konventionelle Replantationsmethode:

Bei dieser Methode wurde der Zahn während der extraoralen Operationsphase in der Hand mit einem mit Ringerlösung befeuchteten Tupfer gehalten. Eine Operationsassistentin befeuchtete kontinuierlich in dieser Phase Zahn und Tupfer mit Ringerlösung aus einer sterilen 20 ml Spritze.

Nach der extraoralen Operationsphase wurde bei beiden Methoden der Zahn mit der Extraktionszange an der klinischen Krone gefasst und in die Alveole zurückgesetzt. Durch eine leichte digitale Kompression sollte die Primärstabilität des replantierten Zahnes verbessert werden.

## **2.2 Röntgenologie**

Alle Röntgenbilder wurden mit einer dreifach vergrößernden Lupenbrille (Zeiss / Oberkochen) ausgewertet.

Der Zahnstatus eines jeweiligen Tieres wurde vor und nach der Replantation erstellt. Damit können schon vorhandene Artefakte oder pathologische Veränderungen vor der Replantation erfasst werden.

### *2.2.1 Herstellung der Röntgenbilder*

Alle Röntgenaufnahmen wurden mit einem Röntgengerät für Einzelzahnaufnahmen (Siemens, Bensheim) in der Rechtwinkeltechnik erstellt.

Als Filmmaterial wurde verwendet:

- AGFA Dentus
- Softapac Dental Film M4
- 3 – 4 cm / Size 2
- 1 ¼ x 1 ⅝ in.
- Speedgroup E

Die Belichtungszeit betrug 600 Millisekunden.

### *2.2.2 Auswertung der Röntgenbilder*

Folgende pathologische Veränderungen sind anhand von Einzelzahnaufnahmen diagnostizierbar:

1. Entzündliche Prozesse:
  - Ostitis
  - Resorption
  - Parodontitis marginalis und apicalis

2. Sklerosierungen
3. Zustand der Parodontiums
4. Qualität der durchgeführten Wurzelspitzenresektion, Grad der Ausheilung
5. Wurzelfrakturen
6. Ankylosen.

Für Auswertung der Röntgenbilder wurde folgende Klassifizierung benutzt:

- Code 1:** ohne pathologischen Befund  
**Code 2:** Resorption (freiliegende Guttapercha)  
**Code 3:** apikale Aufhellung  
**Code 4:** periradikuläre Aufhellung  
**Code 9:** nicht beurteilbar

## 2.3 Histologische Präparate

### 2.3.1 Kiefertrennung und -einbettung

Nach der Opferung wurde den Tieren jeweils der Ober- und Unterkiefer entnommen. Zum Heraustrennen der Kiefer vom Schädel diente eine Knochensäge. Die kompletten Kieferpräparate wurden anschließend in 5% gepufferte Formalinlösung über mehrere Wochen fixiert.

Die Formalinlösung setzte sich wie folgt zusammen:

- 9 Liter Aqua Dest.
- 1 Liter Formalin 40%
- 100 Gramm  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$
- 90 Gramm  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
- pH = 7,2

Die Kieferpräparate wurden mit einer Diamantscheibe unter Wasserkühlung in einzelne Blöcke (Zahn + Knochen) zerlegt, um histologische Dünnschnitte herstellen zu können. Es war nicht immer möglich, pro Zahn ein Präparatblock zu gewinnen, weil der Trennschnitt Zahnwurzeln tangiert hätte (siehe Blockaufteilung). Die einzelnen Präparatblöcke wurden dann mit Beschriftungszettel in einzelne kleine Gläschen mit dichten Verschlusskappen verteilt.



**Abb. 4: Herausgetrenntes Kiefersegment**

### 2.3.2 Einbetten der Zahnpräparate

Das anschließende Entwässern der Blöcke erfolgte über eine aufsteigende Alkoholreihe. Hierbei ist zu beachten, dass Knochen und Zähne längere Entwässerungszeiten benötigen als ausschließliche Knochenpräparate.

Die Alkoholreihe besteht aus:

- 70% Ethanol; 5 Tage
- 100% Ethanol I; 6 Tage
- 100% Ethanol II; 5 Tage
- 100% Ethanol III; 5 Tage

Nach dem Wechsel der Alkoholflüssigkeit sollte keine Trübung auftreten, vor allem nach der letzten Alkoholzugabe (Ethanol III 100%). Eine fachgerechte Einbettung der Präparate basiert auf einer erfolgreichen Entwässerung.

Anschließend werden die Präparatblöcke in reines Xylol eingelegt. Bei jetziger Eintrübung des Xylols muss nochmals mit 100% Alkohol entwässert werden. Nach 10 Tagen wird die Xylollösung gewechselt. Nach weiteren 10 Tagen werden die Präparatblöcke mit dem Einbettmedium Methylmethacrylat (MMA) aufgegossen. Hierzu wird das Methylmethacrylat (MMA) in drei verschiedene Konzentrationen angesetzt:

- |         |   |
|---------|---|
| MMA 0   | = 800 ml MMA + 200 Plastoid N (Weichmacher)   |
| MMA 1   | = MMA 0 + 1% Benzoylperoxid (10g pro Liter)   |
| MMA 2,5 | = MMA 0 + 2,5% Benzoylperoxid (25g pro Liter) |

Die angesetzten, flüssigen Kunststoffe MMA 0, MMA 1, MMA 2,5 werden gekühlt gelagert, um eine frühzeitige Erhärtung zu vermeiden.

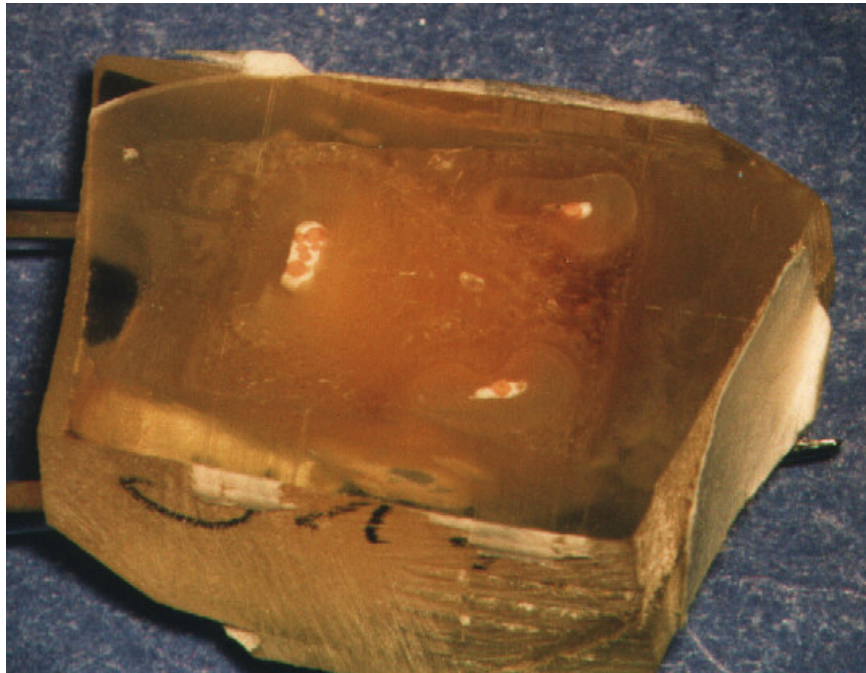
Das Aufgießen der Gläschen, welche die Präparatblöcke enthalten, beginnt mit MMA 0. Vorab wird die Lage der Präparatblöcke im Gläschen für die spätere Schnittführung zur Gewinnung der Dünnschnittpräparate optimiert und fixiert.

Nach 10 Tagen wird MMA 0 durch MMA 1 ersetzt. Nach weiteren 10 Tagen wird dieses MMA 1 durch MMA 2,5 ausgetauscht.



Auftretende Blasen im Einbettmedium sind zu vermeiden. Gegebenfalls muss ein Zugang geschaffen werden, und die Blasen durch neue Einbettflüssigkeit eliminiert werden. Tritt eine zu starke Verdunstung der MMA 2,5-Lösung auf, wird mit zusätzlichen MMA 2,5 aufgegegossen, um eine vollständige Einbettung eines Präparatblocks zu erreichen.

Das MMA 2,5 härtet bei diesen Präparaten 20 Tage ab. Die Härte der Einbettmasse entspricht anschließend etwa der Härte von Knochen und Dentin und lässt dadurch eine unproblematische Schnittführung zur Gewinnung der histologischen Dünnschnittpräparate im Zahnwurzelbereich zu.



**Abb. 5: in MMA eingebetteter Molar mit drei Wurzeln**



Die eingebetteten Präparatblöcke enthielten folgende Zähne:

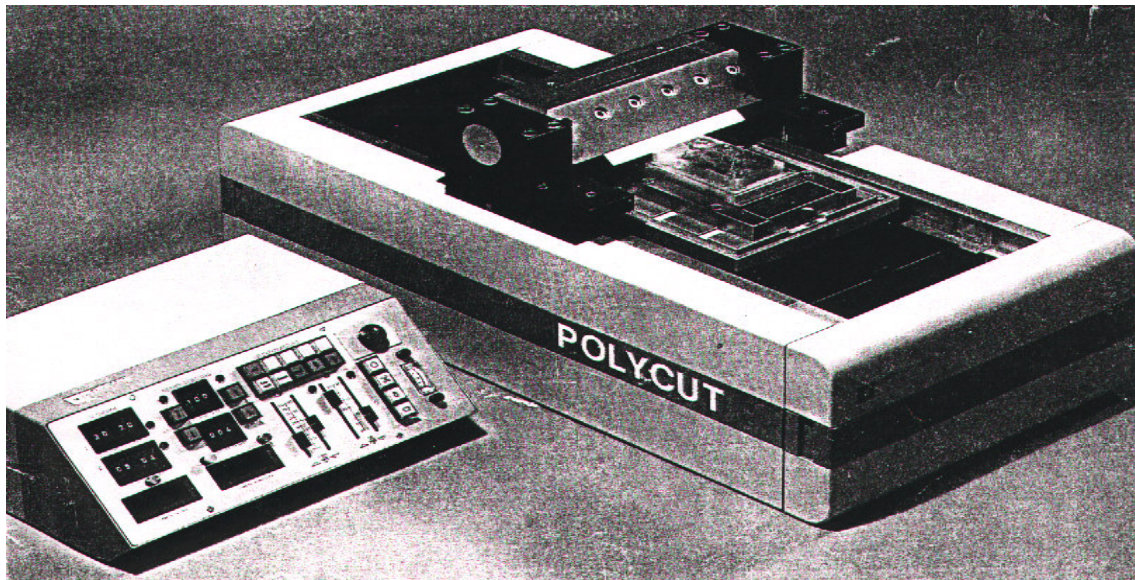
	<b>Tier A</b>	<b>Tier B</b>
<b>Präparatblock</b>	14-15	14-15
	16	16
	17	17-18
	18	
	24-25	24-25
	26	26
	27	27
	28	28
	34	34-35
	36	36
	37	37
	38	38
	44 mesiale Wurzel	44
	44 distale Wurzel	
	45	45
	46	46
	47	47
	48	48
Insgesamt	18 Blöcke	16 Blöcke

### *2.3.3 Herstellung der histologischen Dünnschnittpräparate*

Nach Erhärtung der Einbettmasse MMA 2,5 wurden die Kunststoff - Präparat - Blöcke in Würfelform getrimmt, um eine sichere Einspannung im Dünnschnittgerät (Mikrotom) zu gewährleisten.

#### Gewinnung der Dünnschnitte am Mikrotom

Zur Herstellung der Dünnschnitte wurde ein Mikrotom vom Typ Polycut E der Firma R. Jung GmbH (Nußlock, Deutschland) verwendet.



**Abb. 6: Polycut-Mikrotom**

Das Polycut - Mikrotom verfügt über einen Schlitten, auf dem ein Präparatblock parallel zum schneidenden Messer eingespannt wird. Dieser Schlitten fährt samt Präparatblock mit der gewählten Vorschubgeschwindigkeit unter dem Messer hindurch. Bei diesem Vorgang wird ein Dünnschnitt vom Präparatblock abgespannt. Vor dem nächsten Schnitt hebt sich der Schlitten um die eingestellte Schnittdicke. Das Polycut-Mikrotom arbeitet in einen manuellen oder vollautomatischen Modus. Im vollautomatischen Modus werden vorab die Schnittdicke, die Anzahl der Schnitte, die Schneidegeschwindigkeit, die Messerhöhenverstellung, der Messerrückzug und die horizontale Hublänge individuell eingestellt. Eine digitale Anzeige für die Dicke des gesamten Präparatblockes und der Gradjustierung des Messers komplettierten dieses Gerät.

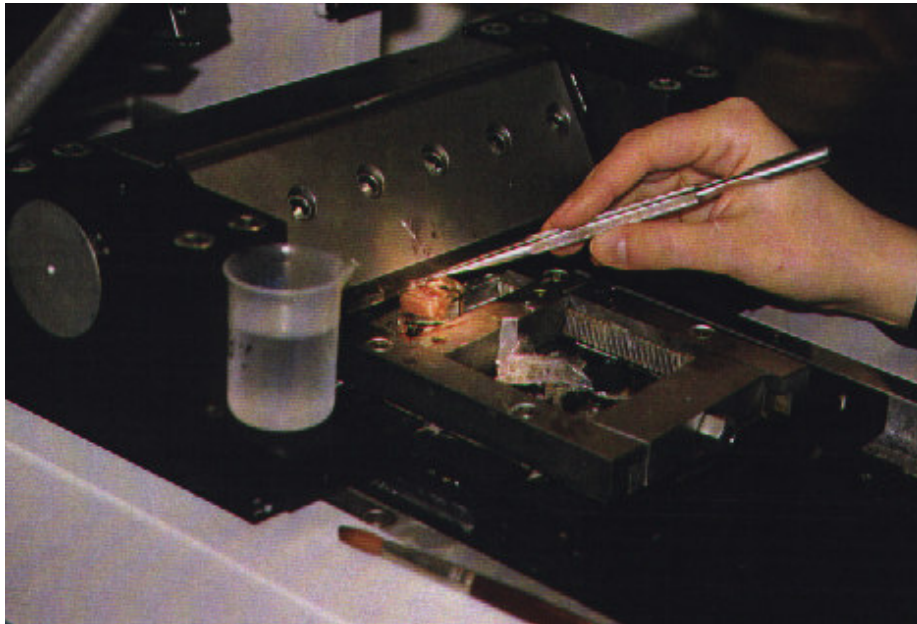
Die besonders harten und spröden Gewebe, wie z.B. Zahnschmelz, erfordern im Vergleich zu Knochen die kleinst mögliche Schnittgeschwindigkeit (0,15 mm/s). Auch die Neigung des spanabhebenden Messers ist für die Erzeugung eines glatten histologischen Schnitts von Bedeutung. Für diese Knochen-Zahn-Präparate wurde ein Schneidmesser mit einem Schnittwinkel von 40° gewählt. Das Messer selbst wurde so flach als möglich eingespannt, um einen Schnittwinkel von nur 5° zu erzielen. Die Schnittdicke betrug 7µm. Zwischen den Schnittebenen lag ein Abstand von 1 mm.

Ein 5µm dicker Dünnschnitt wie bei den Studien von ANDREASEN [4 - 18] konnte nicht angefertigt werden, da die Knochen-Zahn-Präparate zu groß und spröde waren. Bei dieser Schnittdicke zerbrachen oder zerrissen alle Abspannungen. Bei ANDREASEN trat diese Problematik nicht auf, da er seine Zahn-Knochen-Präparate vor der Einbettung dekalifiziert und damit weichere Präparatblöcke zur Herstellung von Dünnschnittpräparaten vorlagen.

Ein Dünnschnitt wird während der Schneidephase mit einer sehr feinen Pinzette am abgespannten Rand vorsichtig ergriffen und in Schneiderichtung abgehoben. Die

Messerschneide darf dabei nicht berührt werden. Das Messer wird dabei kontinuierlich mit einem in 40% Alkohol getränkten Pinsel beträufelt, um eine höhere Elastizität des Dünnschnitts zu erzielen. Ein Zerreißen oder Brechen des Dünnschnitts wird dadurch verhindert. Nach jedem Schnitt wird der Präparateblock an der Oberfläche ebenfalls mit 40% Alkohol eingepinselt, um den Block vor Versprödung zu schützen.

Der gewonnene Dünnschnitt wurde er in Aqua destillata eingelegt. Durch die unterschiedliche Oberflächenspannung entrollte sich der Schnitt weitgehend.



**Abb. 7: Manuelles Abheben der Dünnschnitte am Mikrotom**

#### Beschichten der Objektträger

Die Objektträger wurden mit 4%iger NaOH-Lösung gereinigt und anschließend mit warmen Leitungswasser abgespült. Anschließend wurde der Träger mit einer Gelatine- Chromalaun - Lösung beschichtet. Hierzu wird die Gelatine- Chromalaun - Lösung unter ständigem Umrühren zum Kochen gebracht. Nach Abkühlung auf 40° - 50° C können die Objektträger in die Beschichtungslösung eingetaucht werden. Die nassen Objektträger trocknen nach dem Abtropfen zunächst bei Raumtemperatur. Anschließend wird die Beschichtung im Brutschrank bei 60 Grad Celsius 24 Stunden lang fixiert. Nach dem Abkühlen sind die beschichteten Objektträger benutzbar.

#### Aufziehen der Dünnschnitte auf den Objektträger

Die in Aqua destillata liegenden Dünnschnitte werden auf die beschichteten Objektträger wie folgt aufgezogen:

Der Objektträger wird in das Aqua destillata eingetaucht. Mit einer stumpfen Sonde wird der Dünnschnitt an einer Ecke gefasst und vorsichtig auf den Objektträger aufgezogen. Dabei wird auf die Orientierung und Seite der Dünnschnitte in Relation zum Objektträger geachtet. Die mesiale Seite des Präparats wurde der linken Seite des Objektträgers zugeordnet und zusätzlich zur Sicherheit markiert.

Anschließend wird mit einer Pipette ein Tropfen 70%igen Alkohol auf den Dünnschnitt geträufelt und eine dünne, klare Folie auf den Schnitt gelegt. Mit einem fusselfreien Papiertuch wird der Dünnschnitt vorsichtig faltenfrei und glatt ausgestrichen. Dabei werden der Alkohol und das Wasser abgepresst. Nach dem Trocknen wird der Dünnschnitt mit einer neuen, trockenen Folie abgedeckt, mit Gewichten beschwert und im Brutschrank bei 50°C für mindestens 24 fixiert.

#### Einfärben der Dünnschnitte nach Masson - Goldner

Die Masson - Goldner - Trichromfärbung lieferte laut der Untersuchung von EICHNER/RIEGER [ 43,101], die aussagekräftigsten Ergebnisse bezüglich der Knochenneubildung und Umstrukturierung des Desmodonts.

Die Gewebe färben sich dabei im Dünnschnitt folgendermaßen an:

Zellkerne	rot-blau
Knochen	grün
Osteoid/neugebildeter Knochen	rot
Knorpel	rot
Muskelgewebe	rot-grün
Bindegewebe	hellgrün

Für die Färbung werden folgende Lösungen benötigt:

Weigert Eisenhämatoxylin (Tabelle 11)

Lösung A:	1g Hämatoxylinkristalle (Merck) 100 ml 95%iger Alkohol 3-4 Wochen reifen lassen
Lösung B:	1,6g Eisenchlorid $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck) 1,6 ml 25%iger Salzsäure auf 100 ml Aqua destillata auffüllen
Säurefuchsin – Ponceau - Lösung:	0,4 g Ponceau der Xylidine (Merck) 0,1 g Säurefuchsin (Chroma) 0,6 ml Eisessig 300 ml Aqua dest.
Phosphormolybdänsäure – Orange G-Lösung:	15 g Phosphormolybdänsäure 6 g Orange G (Chroma) 300 ml Aqua destillata
Lichtgrün – Lösung:	0,9 g Lichtgrün (Merck) 0,6 ml Eisessig 300 ml Aqua destillata

Nach dem Ansetzen der Farblösungen wird die eigentliche Färbereihe aufgebaut. In 300 ml Glasküvetten wurden die Lösungen eingefüllt. Mit Hilfe eines Ständers für ca. 15 senkrecht stehende Objektträger wurde die Dünnschnittpräparate in den Lösungen eingetaucht.

Die Einfärbung histologischer Präparate beinhaltet Entplastung und Färbung.

Die Entplastung beinhaltet hierbei das Herauslösen des MMA – Fixierungs - Kunststoffes. Hierzu wird wie folgt vorgegangen:

- |    |                             |                |            |
|----|-----------------------------|----------------|------------|
| 1. | (2 - Methoxyethyl) – Acetat | 3 x 20 Minuten | 3 Küvetten |
| 2. | 100% Alkohol                | 3 x 10 Minuten | 3 Küvetten |
| 3. | 70% Alkohol                 | 3 x 10 Minuten | 3 Küvetten |

Die Acetatküvetten müssen je nach Eintrübung durch die MMA - Auslösung immer wieder erneuert werden, da sonst eine gute Entplastung beeinträchtigt wird. Die absteigende Alkoholreihe verfärbt sich meist etwas rötlich bis hellblau. Auch in diesem Fall wird die jeweilige Alkohollösung erneuert. Ein exaktes Regime für die Einwirkungsdauer und das Erneuern der Entplastungslösungen ist nicht erforderlich.

Für die Einfärbung der Schnitte sind zunächst 15 weitere Küvetten nötig. Nach dem Start des Färbeprozesses muss die komplette Färbereihe durchlaufen werden - ein Unterbrechen führt zu zum Teil unbrauchbaren Dünnschnittpräparaten.

*Färbereihe:*

Weigert Eisenhämatoxylin	15 Minuten alle 8 Tage erneuern
Aqua destillata	5 - 10 x eintauchen
Ponceau – Säurefuchsin	30 Minuten jeden Färbetag filtern
Aqua destillata	5- 10 x eintauchen
1% Essigsäure	10 x eintauchen
Aqua destillata	5 - 10 x eintauchen
Phosphorwolframsäure Orange G	7 Minuten jeden Färbetag filtern
Aqua destillata	5 - 10 x eintauchen
1% Essigsäure	10 x eintauchen
Lichtgrün	15 Minuten jeden Färbetag filtern
Aqua destillata	5 - 10 x eintauchen
1% Essigsäure	10 x eintauchen
Aqua destillata	5 - 10 x eintauchen

Um ein Ablösen der Schnitte vom Objektträger zu vermeiden, wurde möglichst schonend in die Lösung eingetaucht. Auf das Spülen mit Aqua destillata wurde verzichtet. Statt dessen erfolgte ebenso nur ein Eintauchen in Aqua destillata. Die

Aqua destillata - und Essigsäure – enthaltenden Küvetten müssen nach jedem einzelnen Färbegang entleert und frisch gefüllt werden.

#### *Alkoholreihe:*

70% Alkohol, 80% Alkohol, 95% Alkohol, 100% Alkohol

Anschließend folgt eine aufsteigende Alkoholreihe, um die überschüssige Farbe herauszulösen und um die Schnitte zu entwässern. Bei einer starken Färbung einer Alkohollösung wurde diese erneuert. Ein exaktes Zeitregime für die Applikation der Alkoholreihe wurde zugunsten einer dünnchnittspezifischen Anwendung verlassen. Jeder Dünnschnitt wurde einzeln in Augenschein genommen. Der Dünnschnitt sollte zarte, aber klar erkennbare Farben und eine Gewebestruktur makroskopisch erkennen lassen.

Die fertig gefärbten Dünnschnittpräparate werden nach der Applikation von 100%igen Alkohol direkt in reines Xylol getaucht. Das Xylol wird dabei auf 3 Küvetten verteilt, in welcher der Dünnschnitt jeweils 20 Minuten verbleibt. Erst wenn in der letzten Xylolküvette ein streifenfreier Dünnschnitt hervorgeht – d.h., dass sich keine Xyloltropfen über dem Dünnschnitt in Streifen formieren – kann mit dem Eindeckeln begonnen werden. Dabei werden die Präparate mit Deckgläsern versehen.

## **2.4 Histomorphologisches Auswerteverfahren**

### **2.4.1 Mikroskop**

Zur Auswertung der histologischen Dünnschnittpräparate diente ein Inversionsmikroskop der Firma Zeiss (IM 35, Zeiss, Oberkochen).

Die Merkmale dieses Mikroskops sind unter anderem:

- Niedervolt - Mikroskopierleuchte mit vorgeschalteter Aperturblende zur Kontraststeigerung.
- Kreutztisch, der mit Hilfe zweier Stellschrauben (Noniuseinteilung) in x-y Richtung reproduzierbar den fixierten Objektträger verschiebt.
- Objektivrevolver mit einem optischen Weg von insgesamt 160 mm **[48, 102]**.

Die Auswertung der Präparate erfolgte in 100-facher Vergrößerung. Nur für schwierig zu beurteilende Areale wurde eine 200-fache Vergrößerung gewählt.

### **2.4.2 Definition reproduzierbarer Auswertungsareale des Desmodonts**

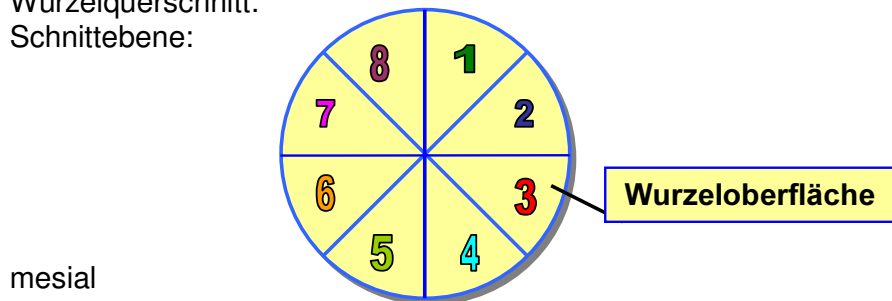
ANDREASEN entwickelte ein Auswerteverfahren von orthogonal zur Wurzelachse gefertigte Dünnschnitten **[9]**. Durch den Mittelpunkt der Wurzel werden auf dem Objektträger zwei aufeinander senkrechte Geraden gezeichnet. Zusätzlich werden dazu im 45-Grad- Winkel zwei weitere Geraden durch die Wurzelmitte gezogen. Dadurch entstehen acht Schnittpunkte zwischen den Geraden und der Wurzeloberfläche. Der Zustand des Desmodonts wird an jedem dieser acht Schnittpunkte ausgewertet.

Durch diese Definition wird ein reproduzierbarer Wiederauffinden der Bewertungsareale ermöglicht. Insbesondere bei der Evaluation der Dünnschnitte durch einen zweiten Untersucher wird eine verbesserte Vergleichbarkeit der

Ergebnisse erzielt (verkleinerte intra- und interindividuelle Streuung der Ergebnisse bei Mehrfachauswertungen).

In vorliegender Studie wurde jedoch nicht nur das Desmodont am Schnittpunkt beurteilt, sondern das gesamte Segment zwischen zwei Schnittpunkten.

Wurzelquerschnitt:  
Schnittebene:



**Abb. 8: Auswertungsareale des Desmodonts am Wurzelquerschnitt**

#### 2.4.3 Klassifizierungskriterien für den Zustand des Desmodonts

ANDREASEN definierte folgenden Kriterien, um den Zustand des Desmodonts reproduzierbar beurteilen zu können [9]:

1. Intaktes Parodont: normal strukturiertes Desmodont und intakte Zementschicht.
2. Aktive Oberflächenresorption: durch intaktes Desmodont begrenzte Resorptionskavitäten; zusätzlich finden sich ein - oder vielkernige resorbierende Zellen.
3. Inaktive Oberflächenresorption: differenziert sich von der aktiven Oberflächenresorption durch das Fehlen von Osteoklasten.
4. Reparierte Oberflächenresorption: oberflächliche und örtlich begrenzte Resorptionskavitäten, die mit zellulären oder azellulären Zement reparativ aufgefüllt wurden.
5. Aktive entzündete Resorption: aktive Resorption mit vielen Osteoklasten; das umliegende Bindegewebe ist zusätzlich stark entzündet.
6. Inaktive entzündete Resorption: differenziert sich von der aktiven entzündlichen Resorption durch das Fehlen von Osteoklasten.
7. Reparative entzündliche Resorption: hier sind die Resorptionslakunen mit zellulärem oder azellulärem Zement aufgefüllt.
8. Aktive Ersatzresorption: Auftreten von vielen Osteoklasten; zudem wird am Ort einer tiefe Resorptionskavität Knochen auf der Wurzeloberfläche abgelagert.
9. Inaktive Ersatzresorption: differenziert sich von der aktiven Ersatzresorption durch das Fehlen von Osteoklasten.
10. Reparierte Ersatzresorption: Ersatzresorption durch eine direkte Ablagerung von Knochen in eine Resorptionslakune.
11. Entzündung des Desmodonts ohne Wurzelresorption.
12. Nekrose des Desmodonts.



In enger Anlehnung an ANDREASEN wurde für diese Untersuchung ein auf fünf Klassifikationen fokussiertes Auswerteschema entwickelt:

Codierung von fünf Klassifikationen:

- CODE 1 Ohne pathologische Erscheinung, gesund:  
Azellulärer (orange) oder zellulärer Zement ist erkennbar;  
Falls der Zement schwierig zu erkennen ist, sollten zumindest Sharpeysche Fasern sichtbar sein; große Lakunen dürfen nicht vorhanden sein;
- CODE 2 Oberflächenresorption, Stadium „arrested“ (ANDREASEN [9]):  
Es findet sich kein azellulärer Zement mehr auf dem Dentin;  
zusätzlich treten Resorptionslakunen, die gegebenenfalls noch mit zellulärem Zement relativ glatt ausgekleidet sind. Über den Lakunen verlaufen meist Sharpeysche Fasern. Mehrkernige Riesenzellen (Osteoklasten) sind in der Regel nicht vorhanden.
- CODE 3 Oberflächenresorption, Stadium „active“ (ANDREASEN [9]):  
Es findet sich kein azellulärer Zement mehr auf dem Dentin; zusätzlich treten Resorptionslakunen auf, deren Dentinoberfläche relativ rau („angegraben“) ist; Mehrkernige Riesenzellen (Osteoklasten) können fakultativ auftreten.
- CODE 4 Substitutionsresorption (Ankylose):  
Knochen liegt dem Wurzeldentin direkt an; zudem können Osteoidstrukturen im Desmodontalspalt und direkt am Wurzeldentin benachbart liegen. Mehrkernige Riesenzellen (Osteoklasten) können fakultativ auftreten.
- CODE 5 Entzündliche Resorption:  
Viele kleine Granulozyten befinden sich direkt am Wurzeldentin;  
Mehrkernige Riesenzellen (Osteoklasten) können fakultativ auftreten.
- CODE 9 Segment aus technischen Gründen komplett nicht beurteilbar.

Bei unterschiedlichen pathologischen Schweregraden innerhalb eines Segmentes wurde das gesamte Segment mit dem höchsten Code beziffert.

Nur wenn das gesamte Segment eines Desmodonts aufgrund Mängel innerhalb des Präparates nicht beurteilbar war, wurde es mit dem Code 9 versehen.

Pro Schnittebene standen im günstigsten Fall 8 Segmente zur Verfügung. Der Schnittebene wurde der höchste auftretende Code (zwischen 1 und 5) zugeordnet. Falls z.B. sieben Segmente mit Code 1 bewertet wurden, das verbleibende achte Segment jedoch mit Code 4, wurde der gesamte Schnittebene der Code 4 zugeordnet.

#### 2.4.4 Darstellung der Strukturen in der Masson-Goldner-Färbung

In der Masson-Goldner-Färbung zeigen sich:

- Parenchym → rot-orange (Farbstoff Azofuchsin)
- Fibrin → rot-orange (Farbstoff Azofuchsin)
- Mesenchym → grün (Farbstoff Lichtgrün)
- Zellkerne → schwarz (Farbstoff Eisenhämatoxylin) **[112]**.



### 2.4.5 Schnittebenen

Pro Zahn beziehungsweise pro Zahnwurzel wurden histologische Präparate in acht Schnittebenen zur Beurteilung herangezogen, soweit dies in der Herstellung der Präparate möglich war. In seltenen Fällen konnte in keiner Schnittebene ein Präparat technisch einwandfrei angefertigt werden.

## 2.5 Statistische Auswerteverfahren

Für den statistischen Vergleich der Kontroll- und der Testgruppe (Replantationsmethode nach Lauer) anhand der röntgenologischen und histologischen Ergebnissen wurden Testverfahren für eine einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) angewandt. Der Duncan-Test ist z.B. ein sogenannter Post-Hoc-Test im Rahmen dieser einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA). Wenn Differenzen zwischen den Mittelwerten festgestellt werden, kann man mit Hilfe von Post-Hoc-Spannweitentests bestimmen, welcher Mittelwert abweicht. Spannweitentests ermitteln homogene Untergruppen von Mittelwerten, die nicht voneinander abweichen. Als weitere Testverfahren dienten der paarweise durchgeführte Bonferroni Test, der Fisher's LSD Test, der Newman-Keuls Test, der Scheffe's Test und der Tukey-Kramer Test.

## 3 Ergebnisse

Die Methodik dieser Arbeit umfasst eine am Tier durchgeführte Zahnreplantation, die anhand von Röntgenbildern und histologischen Präparaten ausgewertet wurden.

### 3.1 Histologische Auswertung

In der Tabelle 1 wird die Auswertung der histologischen Dünnschnitte nach der histologischen Klassifizierung Code 1-9 dargestellt. Code 9 = nicht beurteilbar geht dabei nicht in die statistische Auswertung ein.

#### 3.1.1 Berechnung des Klassifizierungsmittelwertes pro Wurzel

Der Mittelwert der Klassifizierung des Desmodonts wurde pro Wurzel in einer Zahnwurzelschnittebene berechnet (Tab. 1). Die Schnittebenen wurden aus dem mittleren bis apikalen Wurzelbereich gewählt. Dadurch konnten verfälschende Einflüsse wie z.B. eine Parodontitis marginalis ausgeschlossen werden. Der Mittelwert berechnet sich wie folgt:

Code 1 x aufgetretene Anzahl + Code 2 x aufgetretene Anzahl + Code 3 x aufgetretene Anzahl + Code 4 x aufgetretene Anzahl + Code 5 x aufgetretene Anzahl / Summe der ausgewerteten Messpunkte = durchschnittlicher Code

#### 3.1.2 Berechnung der schlechtesten Klassifizierung pro Wurzel

Als weitere Klassifizierung des Desmodonts diente der höchste Wert eines evaluierten Bewertungscodes pro Wurzel. Hierzu wurde der Maximalwert der vorliegende Codes pro Wurzel bestimmt (Tab. 1).

**Tier A (Lauer-Methode)**

<b>Wurzel</b>	<b>regio</b>	<b>Anzahl Code 1</b>	<b>Anzahl Code 2</b>	<b>Anzahl Code 3</b>	<b>Anzahl Code 4</b>	<b>Anzahl Code 5</b>	<b>Summe</b>	<b>Durchschnitt</b>	<b>Maximal-Code</b>
1	17 mb	0	6	0	0	2	8	2,75	5
2	17 db	0	8	0	0	0	8	2,00	2
3	17 p	0	5	0	0	2	7	2,86	5
4	15 mb	0	6	0	1	0	7	2,29	4
5	15 db	4	0	0	0	0	4	1,00	1
6	15 p	4	0	1	2	1	8	2,50	5
7	24 mb	1	6	0	0	1	8	2,25	5
8	24 db	0	0	3	5	0	8	3,63	4
9	24 p	0	5	2	1	0	8	2,50	4
10	26 mp	0	3	4	1	0	8	2,75	4
11	26 db	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
12	26 p	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
13	37 m	0	5	0	1	1	7	2,71	5
14	37 d	1	5	1	1	0	8	2,25	4
15	35 m	4	2	2	0	0	8	1,75	3
16	35 d	1	5	1	0	0	7	2,00	3
17	44 m	0	3	3	0	1	7	2,86	5
18	44 d	2	4	0	0	0	6	1,67	2
19	46 m	1	1	4	0	0	6	2,50	3
20	46 d	0	3	4	1	0	8	2,75	4
<b>Mittelwert</b>								<b>2,39</b>	<b>3,78</b>

**Tier A (Konventionelle Methode)**

<b>Wurzel</b>	<b>regio</b>	<b>Anzahl Code 1</b>	<b>Anzahl Code 2</b>	<b>Anzahl Code 3</b>	<b>Anzahl Code 4</b>	<b>Anzahl Code 5</b>	<b>Summe</b>	<b>Durchschnitt</b>	<b>Maximal-Code</b>
1a	16 mb	1	1	1	3	1	7	3,29	5
2a	16 db	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
3a	16 p	0	4	1	0	1	6	2,67	5
4a	14 mb	0	0	0	8	0	8	4,00	4
5a	14 db	0	2	2	4	0	8	3,25	4
6a	14 p	0	0	2	6	0	8	3,75	4
7a	25 mb	0	2	0	2	4	8	4,00	5
8a	25 db	0	0	2	2	1	5	3,80	5
9a	25 p	0	2	1	1	4	8	3,88	5
10a	36 m	0	3	2	2	1	8	3,13	5
11a	36 d	0	4	1	3	0	8	2,88	4
12a	34 m	1	3	2	0	0	6	2,17	3
13a	34 d	0	2	2	0	2	6	3,33	5
14a	45 m	1	2	4	0	1	8	2,75	5
15a	45 d	2	3	1	2	0	8	2,38	4
16a	47 m	0	0	0	3	5	8	4,63	5
17a	47 d	0	0	1	6	0	7	3,86	4
18a	27 mb	0	1	2	5	0	8	3,50	4
19a	27 db	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
20a	27 p	0	0	2	2	4	8	4,25	5
<b>Mittelwert</b>								<b>3,42</b>	<b>4,50</b>

**Tier A (Kontrolle = ohne Therapie)**

<b>Wurzel</b>	<b>regio</b>	<b>Anzahl Code 1</b>	<b>Anzahl Code 2</b>	<b>Anzahl Code 3</b>	<b>Anzahl Code 4</b>	<b>Anzahl Code 5</b>	<b>Summe</b>	<b>Durchschnitt</b>	<b>Maximal-Code</b>
1b	18 mb	2	0	0	0	0	2	1,00	1
2b	18 db	8	0	0	0	0	8	1,00	1
3b	18 p	7	0	0	0	0	7	1,00	1
4b	28 mb	2	1	0	0	0	3	1,33	2
5b	28 db	2	6	0	0	0	8	1,75	2
6b	28 p	1	4	0	0	0	5	1,80	2
7b	38 m	7	1	0	0	0	8	1,13	2
8b	38 d	7	1	0	0	0	8	1,13	2
8b	48 m	7	1	0	0	0	8	1,13	2
10b	48 d	8	0	0	0	0	8	1,00	1
<b>Mittelwert</b>								<b>1,23</b>	<b>1,60</b>

**Tier B (Lauer Methode)**

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Anzahl Code 1	Anzahl Code 2	Anzahl Code 3	Anzahl Code 4	Anzahl Code 5	Summe	Durchschnitt	Maximal-Code
1	17 mb	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
2	17 db	1	2	4	0	1	8	2,75	5
3	17 p	3	4	1	0	0	8	1,75	3
4	15 mb	2	4	1	1	0	8	2,13	4
5	15 db	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
6	15 p	2	3	0	2	1	8	2,63	5
7	24 mb	0	2	5	0	1	8	3,00	5
8	24 db	0	1	3	2	1	7	3,43	5
	24 p	0	0	3	3	0	6	3,50	4
10	26 mb	2	1	0	3	0	6	2,67	4
11	26 db	1	3	2	1	1	8	2,75	5
12	26 p	1	4	3	0	0	8	2,25	3
13	37 mb	0	2	1	2	0	5	3,00	4
14	37 db	0	4	3	0	0	7	2,43	3
15	35 mb	0	2	2	2	2	8	3,50	5
16	35 db	2	3	0	1	0	6	2,00	4
17	44 m	0	1	4	2	1	8	3,38	5
18	44 d	1	2	1	1	0	5	2,40	4
1	46 m	1	2	2	0	1	6	2,67	5
20	46 d	2	3	3	0	0	8	2,13	3
Mittelwert								2,6	4,22

**Tier B (Konventionelle Methode)**

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Anzahl Code 1	Anzahl Code 2	Anzahl Code 3	Anzahl Code 4	Anzahl Code 5	Summe	Durchschnitt	Maximal-Code
1	16 mb	0	4	2	0	2	8	3,00	5
2	16 db	0	2	1	1	0	4	2,75	4
3	16 p	0	5	1	0	2	8	2,88	5
4	14 mb	0	2	2	0	1	5	3,00	5
5	14 db	0	2	0	0	3	5	3,80	5
6	14 p	0	2	0	4	2	8	3,75	5
7	25 mb	0	0	3	2	0	5	3,40	4
8	25 dp	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
	25 p	0	0	3	2	3	8	4,00	5
10	27 mb	0	4	2	0	1	7	2,71	5
11	27 dp	0	1	2	0	4	7	4,00	5
12	27 p	0	6	1	0	1	8	2,50	5
13	36 m	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
14	36 d	1	2	3	1	1	8	2,88	5
15	34 m	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
16	34 d	0	4	2	1	0	7	2,57	4
17	45 m	0	2	1	0	1	4	3,00	5
18	45 d	2	0	3	1	1	7	2,86	5
1	47 m	0	0	2	4	0	6	3,67	4
20	47 d	0	0	3	1	3	7	4,00	5
Mittelwert								3,22	4,6

**Tier B (Kontrolle = ohne Therapie)**

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Anzahl Code 1	Anzahl Code 2	Anzahl Code 3	Anzahl Code 4	Anzahl Code 5	Summe	Durchschnitt	Maximal-Code
1b	18 mb	5	2	1	0	0	8	1,50	3
2b	18 db	0	0	0	0	0	0	nicht auswertbar	
3b	18 p	0	0	0	0	8	8	5,00	5
4b	28 bd+p	4	4	0	0	0	8	1,50	2
5b	28 mb	2	3	1	0	0	6	1,83	3
6b	38 m	4	1	0	2	0	7	2,00	4
7b	38 db	2	3	0	0	1	6	2,17	5
8b	48 m	5	0	0	0	0	5	1,00	1
9b	48 d	2	1	0	0	0	3	1,33	2
Mittelwert								2,04	3,13

**Tabelle 1: Histologische Bewertung der Zahnwurzeln**

### 3.1.3 Statistische Analyse des Klassifizierungsmittelwertes pro Wurzel

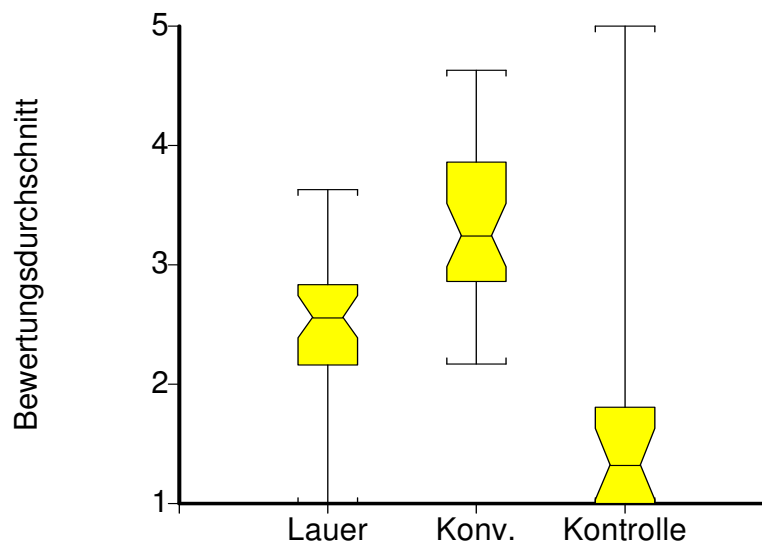
Für den statistischen Vergleich beider Therapiemethoden wurden bei den histologischen Ergebnissen unterschiedliche Grundgesamtheiten verwendet.

Die erste Grundgesamtheit bildeten jeweils einzelne Wurzeln, deren Zustand des Desmodonts mit dem Mittelwert der an dieser Wurzel vergebenen Beurteilungskriterien 1 bis 5 beschrieben wird (siehe Tab. 1). Es wurden die nicht replantierten Zähne (Kontrolle) mit den nach Lauer replantierten (Lauer\_Methode) und den konventionell replantierten Zähnen (Konv\_Methode) verglichen.

#### Summary Section

	Count	Mean	Standard Deviation	Standard Error	Minimum	Maximum
Lauer_Meth	36	2,526944	0,5555992	9,259985E-02	1	3,63
Konv-Meth	35	3,306857	0,6071378	0,102625	2,17	4,63
Kontrolle	18	1,588889	0,93263	0,219823	1	5

Die Verteilung der Mittelwerte stellt sich in einem Boxplotdiagramm wie folgt dar:



Die Testverfahren für eine einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) fielen wie folgt aus:

#### Bonferroni (All-Pairwise) Multiple Comparison Test

Response: Kontrolle,Konv\_\_Methode,Lauer\_Methode

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,4432988 Critical Value=2,4417

Group	Count	Mean	Different From Groups
Kontrolle	18	1,588889	Lauer_Methode, Konv__Methode
Lauer_Methode	36	2,526944	Kontrolle, Konv__Methode
Konv__Methode	35	3,306857	Kontrolle, Lauer_Methode

**Duncan's Multiple-Comparison Test**

Response: Kontrolle,Konv\_\_Methode,Lauer\_Methode

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,4432988

Group	Count	Mean	Different From Groups
Kontrolle	18	1,588889	Lauer_Methode, Konv__Methode
Lauer_Methode	36	2,526944	Kontrolle, Konv__Methode
Konv__Methode	35	3,306857	Kontrolle, Lauer_Methode

**Fisher's LSD Multiple-Comparison Test**

Response: Kontrolle,Konv\_\_Methode,Lauer\_Methode

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,4432988 Critical Value=1,9879

Group	Count	Mean	Different From Groups
Kontrolle	18	1,588889	Lauer_Methode, Konv__Methode
Lauer_Methode	36	2,526944	Kontrolle, Konv__Methode
Konv__Methode	35	3,306857	Kontrolle, Lauer_Methode

**Newman-Keuls Multiple-Comparison Test**

Response: Kontrolle,Konv\_\_Methode,Lauer\_Methode

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,4432988

Group	Count	Mean	Different From Groups
Kontrolle	18	1,588889	Lauer_Methode, Konv__Methode
Lauer_Methode	36	2,526944	Kontrolle, Konv__Methode
Konv__Methode	35	3,306857	Kontrolle, Lauer_Methode

**Scheffe's Multiple-Comparison Test**

Response: Kontrolle,Konv\_\_Methode,Lauer\_Methode

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,4432988 Critical Value=2,4910

Group	Count	Mean	Different From Groups
Kontrolle	18	1,588889	Lauer_Methode, Konv__Methode
Lauer_Methode	36	2,526944	Kontrolle, Konv__Methode
Konv__Methode	35	3,306857	Kontrolle, Lauer_Methode

**Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test**

Response: Kontrolle,Konv\_\_Methode,Lauer\_Methode

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,4432988 Critical Value=3,3729

Group	Count	Mean	Different From Groups
Kontrolle	18	1,588889	Lauer_Methode, Konv__Methode
Lauer_Methode	36	2,526944	Kontrolle, Konv__Methode
Konv__Methode	35	3,306857	Kontrolle, Lauer_Methode

**3.1.4 Statistische Analyse der schlechtesten Klassifizierung pro Wurzel**

Die zweite Grundgesamtheit bildeten jeweils einzelne Wurzeln, deren Zustand des Desmodonts mit dem MAXIMAL-Wert des an dieser Wurzel vergebenen Beurteilungskriteriums 1 bis 5 beschrieben wird (siehe Tabelle 1). Es wurden die nicht replantierten Zähne (MAX\_Kontrolle) mit den nach Lauer replantierten (MAX\_Lauer) und den konventionell replantierten Zähnen (MAX\_Konv) verglichen.

Die einseitigen ANOVA Testverfahren fielen wie folgt aus:

**Bonferroni (All-Pairwise) Multiple Comparison Test**

Response: MAX\_Kontrolle,MAX\_Konv,MAX\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,8811923 Critical Value=2,4417

Group	Count	Mean	Different From Groups
MAX_Kontrolle	18	2,277778	MAX_Lauer, MAX_Konv
MAX_Lauer	36	4	MAX_Kontrolle, MAX_Konv
MAX_Konv	35	4,628572	MAX_Kontrolle, MAX_Lauer

**Duncan's Multiple-Comparison Test**

Response: MAX\_Kontrolle,MAX\_Konv,MAX\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,8811923

Group	Count	Mean	Different From Groups
MAX_Kontrolle	18	2,277778	MAX_Lauer, MAX_Konv
MAX_Lauer	36	4	MAX_Kontrolle, MAX_Konv
MAX_Konv	35	4,628572	MAX_Kontrolle, MAX_Lauer

**Fisher's LSD Multiple-Comparison Test**

Response: MAX\_Kontrolle,MAX\_Konv,MAX\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,8811923 Critical Value=1,9879

Group	Count	Mean	Different From Groups
MAX_Kontrolle	18	2,277778	MAX_Lauer, MAX_Konv
MAX_Lauer	36	4	MAX_Kontrolle, MAX_Konv
MAX_Konv	35	4,628572	MAX_Kontrolle, MAX_Lauer

**Newman-Keuls Multiple-Comparison Test**

Response: MAX\_Kontrolle,MAX\_Konv,MAX\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,8811923

Group	Count	Mean	Different From Groups
MAX_Kontrolle	18	2,277778	MAX_Lauer, MAX_Konv
MAX_Lauer	36	4	MAX_Kontrolle, MAX_Konv
MAX_Konv	35	4,628572	MAX_Kontrolle, MAX_Lauer

**Scheffe's Multiple-Comparison Test**

Response: MAX\_Kontrolle,MAX\_Konv,MAX\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,8811923 Critical Value=2,4910

Group	Count	Mean	Different From Groups
MAX_Kontrolle	18	2,277778	MAX_Lauer, MAX_Konv
MAX_Lauer	36	4	MAX_Kontrolle, MAX_Konv
MAX_Konv	35	4,628572	MAX_Kontrolle, MAX_Lauer

**Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test**

Response: MAX\_Kontrolle,MAX\_Konv,MAX\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=86 MSE=0,8811923 Critical Value=3,3729

Group	Count	Mean	Different From Groups
MAX_Kontrolle	18	2,277778	MAX_Lauer, MAX_Konv
MAX_Lauer	36	4	MAX_Kontrolle, MAX_Konv
MAX_Konv	35	4,628572	MAX_Kontrolle, MAX_Lauer

Die beiden aus den verschiedenen Therapieverfahren gebildeten Grundgesamtheiten werden bei allen durchgeführten ANOVA-Testverfahren als statistisch unterschiedlich bewertet ( $p < 0,05$ ); Die Kontrollgruppe unterscheidet sich ebenfalls zu beiden Therapieverfahren statistisch signifikant.

### 3.2 Auswertung der Röntgenbilder

In nachfolgender Tabelle Nr. 2 wird die Bewertung der Zahnwurzeln nach den vier Klassifizierungsgraden gegenübergestellt.

#### Tier A (Lauer-Methode)

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Bewertungs Code
1	17 mb	1
2	17 db	2
3	17 p	1
4	15 mb	1
5	15 db	1
6	15 p	1
7	24 mb	1
8	24 db	1
9	24 p	2
10	26 mp	1
11	26 db	3
12	26 p	2
13	37 m	4
14	37 d	1
15	35 m	1
16	35 d	3
17	44 m	nicht auswertbar
18	44 d	1
19	46 m	3
20	46 d	2
Mittelwert		1,68

#### Tier A (Konv. Methode)

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Bewertungs Code
1a	16 mb	1
2a	16 db	1
3a	16 p	1
4a	14 mb	1
5a	14 db	1
6a	14 p	2
7a	25 mb	1
8a	25 db	1
9a	25 p	2
10a	36 m	4
11a	36 d	2
12a	34 m	nicht auswertbar
13a	34 d	1
14a	45 m	1
15a	45 d	1
16a	47 m	4
17a	47 d	1
18a	27 mb	1
19a	27 db	2
20a	27 p	nicht auswertbar
Mittelwert		1,56

#### Tier A (Kontrolle = ohne Therapie)

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Bewertungs Code
1b	18 mb	nicht auswertbar
2b	18 db	nicht auswertbar
3b	18 p	1
4b	28 mb	nicht auswertbar
5b	28 db	nicht auswertbar
6b	28 p	nicht auswertbar
7b	38 m	1
8b	38 d	nicht auswertbar
8b	48 m	1
10b	48 d	nicht auswertbar
Mittelwert		1,00

**Tier B (Lauer-Methode)**

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Bewertungs Code
1	17 mb	4
2	17 db	1
3	17 p	1
4	15 mb	1
5	15 db	2
6	15 p	1
7	24 mb	1
8	24 db	2
9	24 p	3
10	26 mb	nicht auswertbar
11	26 db	1
12	26 p	2
13	37 mb	1
14	37 db	3
15	35 mb	nicht auswertbar
16	35 db	3
17	44 m	nicht auswertbar
18	44 d	1
19	46 m	3
20	46 d	1
		-----
<b>Mittelwert</b>		<b>1,82</b>

**Tier B (Konv. Methode)**

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Bewertungs Code
1a	16 mb	4
2a	16 db	1
3a	16 p	2
4a	14 mb	1
5a	14 db	1
6a	14 p	1
7a	25 mb	1
8a	25 dp	1
9a	25 p	1
10a	27 mb	nicht auswertbar
11a	27 dp	1
12a	27 p	nicht auswertbar
13a	36 m	2
14a	36 d	4
15a	34 m	nicht auswertbar
16a	34 d	1
17a	45 m	1
18a	45 d	3
19a	47 m	1
20a	47 d	1
		-----
<b>Mittelwert</b>		<b>1,59</b>

**Tier B (Kontrolle = ohne Therapie)**

<i>Wurzel</i>	<i>regio</i>	Bewertungs Code
1	18 mb	nicht auswertbar
2	18 db	nicht auswertbar
3	18 p	nicht auswertbar
4	28 mb	nicht auswertbar
5	28 db	nicht auswertbar
6	28 p	nicht auswertbar
7	38 m	1
8	38 d	nicht auswertbar
9	48 m	1
10	48 d	nicht auswertbar
		-----
<b>Mittelwert</b>		<b>1,00</b>

**Tabelle 2: Radiologische Bewertung der Zahnwurzeln**



### 3.2.1 Statistische Analyse der radiologischen Bewertung

Für die statistische Analyse wurden bei dem Vergleich der Röntgenbilder Testverfahren für eine einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) angewandt.

Die Grundgesamtheit bildeten jeweils einzelne Wurzeln, deren Zustand des Desmodonts mit der Bewertung des dieser Wurzel vergebenen Beurteilungskriteriums 1 bis 5 beschrieben wird (siehe Tab. 2). Es wurden die konventionell replantierten Zähne (R\_Konv) mit den nach Lauer replantierten Zähnen (R\_Lauer) verglichen.

Die Testverfahren für eine einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) fielen wie folgt aus:

#### **Bonferroni (All-Pairwise) Multiple Comparison Test**

Response: R\_Konv,R\_Lauer

Term A:

Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=69 MSE=0,9756729 Critical Value=1,9949

Group	Count	Mean	Different From Groups
R_Konv	35	1,571429	
R_Lauer	36	1,75	

#### **Duncan's Multiple-Comparison Test**

Response: R\_Konv,R\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=69 MSE=0,9756729

Group	Count	Mean	Different From Groups
R_Konv	35	1,571429	
R_Lauer	36	1,75	

#### **Fisher's LSD Multiple-Comparison Test**

Response: R\_Konv,R\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=69 MSE=0,9756729 Critical Value=1,9949

Group	Count	Mean	Different From Groups
R_Konv	35	1,571429	
R_Lauer	36	1,75	

#### **Newman-Keuls Multiple-Comparison Test**

Response: R\_Konv,R\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=69 MSE=0,9756729

Group	Count	Mean	Different From Groups
R_Konv	35	1,571429	
R_Lauer	36	1,75	

#### **Scheffe's Multiple-Comparison Test**

Response: R\_Konv,R\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=69 MSE=0,9756729 Critical Value=1,9949

Group	Count	Mean	Different From Groups
R_Konv	35	1,571429	
R_Lauer	36	1,75	

**Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test**

Response: R\_Konv,R\_Lauer

Term A: Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=69 MSE=0,9756729 Critical Value=2,8213

Group	Count	Mean	Different From Groups
R_Konv	35	1,571429	
R_Lauer	36	1,75	

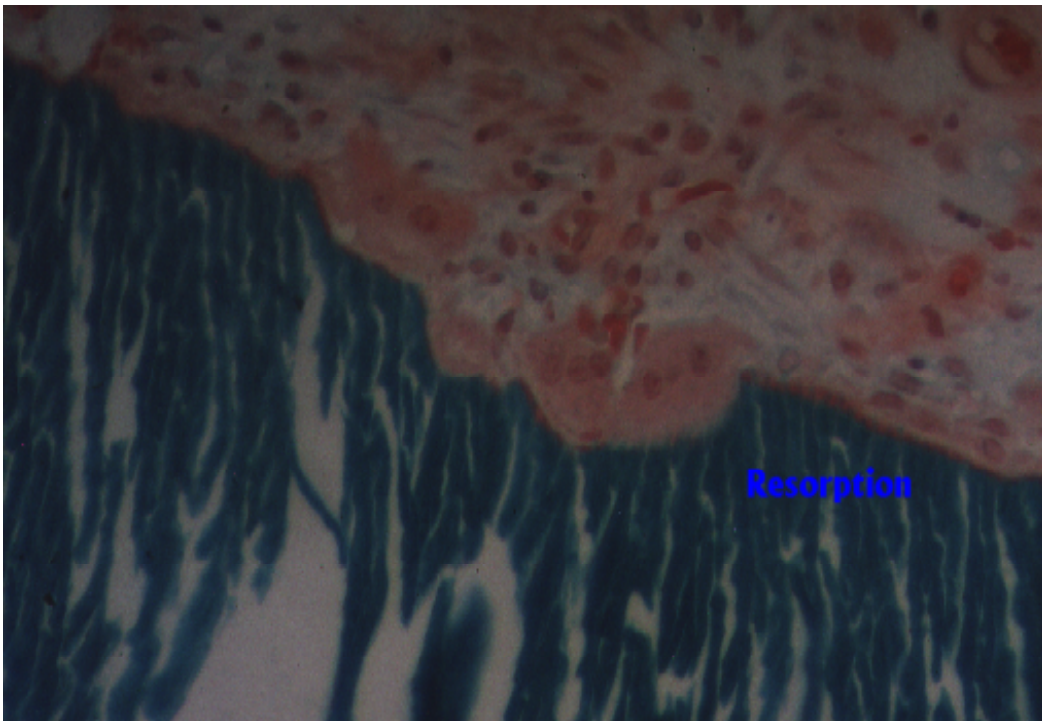
Die aus den verschiedenen Therapieverfahren gebildeten Grundgesamtheiten werden bei allen durchgeführten ANOVA-Testverfahren als statistisch *n i c h t* unterschiedlich bewertet ( $p < 0,05$ );

**3.3 Vergleich Histologie und Radiologie**

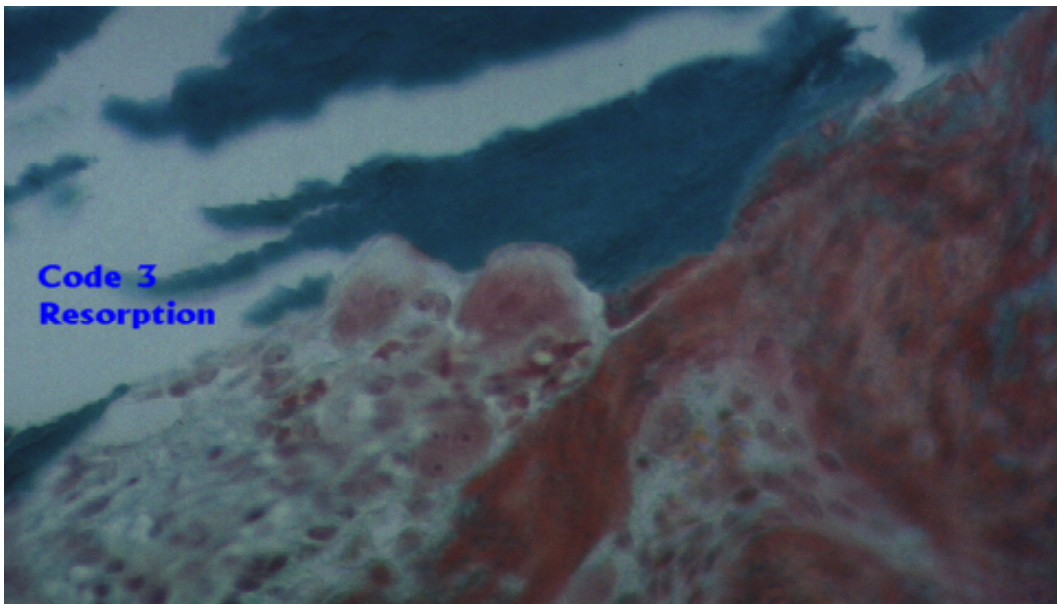
Die unterschiedlichen Ergebnisse der histologischen Präparate und der Röntgenbilder nach deren statistischen Auswertung legt einen direkten Vergleich beider Untersuchungsmethoden für das Desmodont nahe. Im folgenden werden einige histologische Dünnschnittpräparate einem korrespondierenden Röntgenbild gegenübergestellt.



**Abb. 9a: Röntgenbild Tier A, Zahn 26, Resorption an palatinaler Wurzel, Code 2**



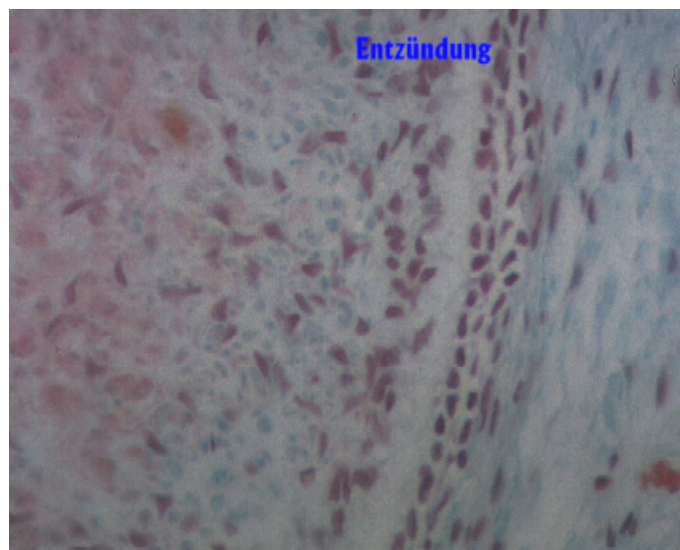
**Abb. 9b: Histologie, Tier A, Zahn 26, palatinale Wurzel mit Resorptionslakune**



**Abb. 9c: Histologie, Tier A, Zahn 26, palatinale Wurzel mit Resorption, Code 3**



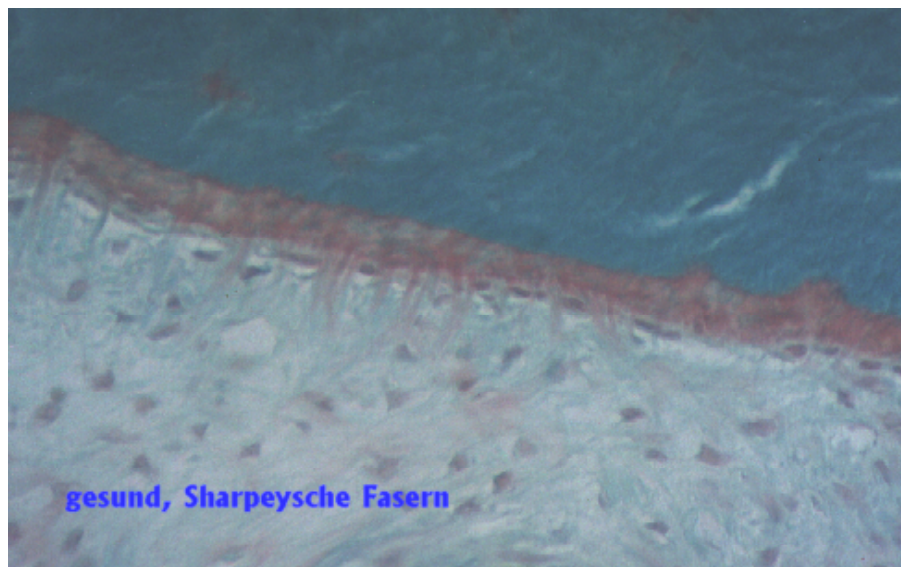
**Abb. 10a: Röntgenbild Tier A, Zahn 47, periradikulare Aufhellung mes. Wurzel**



**Abb. 10b: Histologie, Tier A, Zahn 47, mesiale Wurzel, Entzündung, Code 5**

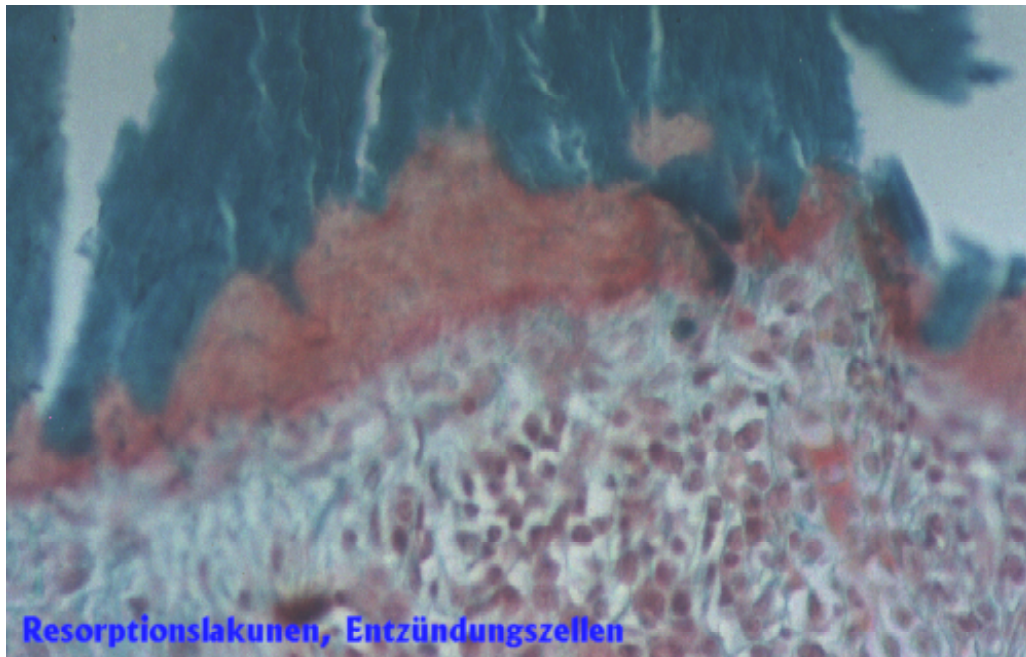


**Abb. 11a: Röntgenbild Tier B, Zahn 44, distale Wurzel, Code 1**



**Abb. 11b: Histologie, Tier B, Zahn 44, distale Wurzel, Code 1**





**Abb. 11c: Histologie, Tier B, Zahn 44, distale Wurzel, Code 3 + 4**

Obwohl die Abb. 11a und Abb. 11b von derselben Wurzel stammen, zeigt das Röntgenbild (Abb. 11a) keine pathologischen Befunde, der histologische Dünnschnitt (Abb. 11c) jedoch Befunde „Code 3“ und „Code 4“ (Oberflächenresorption und Substitutionsresorption). Sogar Entzündungszeichen in Form von Granulozyten-Ansammlungen treten an dieser röntgenologisch gesunden Wurzel auf.

## 4 Diskussion

Ziel dieser Studie ist es, unterschiedlichen Replantationsmethoden am Tiermodell anhand von histologischen und röntgenologischen Ergebnissen zu vergleichen.

Bei der radiologischen Untersuchungsmethode ist zu berücksichtigen, dass Veränderungen am Knochen erst ab einer Demineralisierung von circa 75% eindeutig beurteilt werden können. Eine Resorption von Wurzeldentin kann allerdings metrisch bestimmt werden [104]. Histologisch lässt sich dagegen jede Veränderung am Gewebe evaluieren. Im Gegensatz zum Röntgenbild ist jedoch eine metrische Bestimmung des Hartschmerzverlustes kaum möglich [102]. Beide Untersuchungsmethoden ergänzen sich somit für den objektiven Vergleich der beiden Replantationsmethoden. Neben der statistischen Analyse der gewonnenen Ergebnisse sollten ergänzend auch die histologischen und röntgenologischen Ergebnisse von einzelnen Wurzeln gegenübergestellt werden.

### 4.1 Statistische Analyse der histologischen Ergebnisse

Die Klassifizierungsmittelwerte der konventionell replantierten Zähne von Tier A + Tier B fallen gegenüber den Werten der nach Lauer replantierten Zähne deutlich schlechter aus. Die Kontrollgruppe von Tier A weist fast den Idealwert „ohne pathologischen Befund“ (1,23) auf. Die schlechteren Werte der Kontrollgruppe von Tier B (2,04) deuten auf einen etwas ungünstigeren präoperativen, oralen Ausgangsbefund von Tier B gegenüber Tier A hin. Bei beiden Tieren ist die Lauer-Methode mit Werten von 2,39 und 2,69 der konventionellen Methode mit Werten von 3,42 und 3,22 überlegen.

Auch die statistischen Testverfahren im Rahmen einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) zeigen signifikante Unterschiede bei der histologischen Bewertung des Desmodonts. Sowohl die Grundgesamtheit der Klassifizierungsmittelwerte pro Wurzel als auch die Grundgesamtheit der schlechtesten Desmodontbewertung pro Wurzel fallen bei keinem der angewandten Tests durch. Die Verteilung der Klassifizierungsmittelwerte pro Wurzel weist eindeutig auf einen Trend hin. Die innovative Replantationsmethode nach Lauer weist einen besser bewerteten Zustand des Desmodonts auf als bei der konventionellen Replantationsmethode. Die Ernährung, die Kühlung und der Kontaminationsschutz des Desmodonts während der extraoralen Therapiephase scheinen eine erhöhte Überlebensrate der Fibroblastenzelle zu verursachen. Dies führt zu der statistisch signifikant verbesserten Einheilung eines replantierten Zahnes.

### 4.2 Statistische Analyse der Röntgenbildauswertung

Die gleichen ANOVA - Testverfahren ermitteln jedoch bei der Bewertung der Röntgenbilder keinen statistischen Unterschied der beiden Replantationsmethoden. Selbst die Mittelwerte aller einzelnen Wurzelbeurteilungen lassen keinen Trend für eine verbesserte Einheilung der innovativ replantierten Zähne erkennen. Im Gegenteil, die Mittelwerte der konventionell replantierten Zähne von Tier A + Tier B weisen neben der Kontrollgruppe die niedrigsten Werte (1,56 und 1,59) auf. Die nach der Lauer-Methode replantierten Zähne zeigen mit 1,75 den höchsten pathologischen Durchschnittswert. Die konventionelle Methode ist bei beiden Tieren der Lauer-Methode überlegen. Die Kontrollgruppe erreicht mit dem Durchschnittswert 1,00 das Optimum. Die radiologisch darstellbaren Unterschiede sind wahrscheinlich in dem kurzen Zeitraum zwischen Replantation und Opferung des Tieres zu gering

ausgeprägt. Zudem verursacht die zweidimensionale Abbildung von dreidimensionalen Sachverhalten weitere Fehler in der Auswertung. Je nach Strahlengang ist eine Oberflächenresorption sichtbar oder auch nicht. Die Zahl der röntgenologisch nicht zu erkennenden Veränderungen ist nur histologisch überprüfbar. Der Sinn von einer alleinigen Bewertung von Röntgenbildern und deren statischen Analyse ist deshalb zweifelhaft insbesondere im vorliegenden histologischen Ergebnis. Das Röntgenbild kann also nur zusammen mit der histologischen Untersuchung zu einer validen Aussage führen.

### 4.3 Einzelvergleiche zwischen Röntgenbild und Histologiebefund

In Folgendem werden Röntgenbilder mit dazu korrespondierenden histologischen Präparaten verglichen, um die möglichen Fehlerquellen bei der Röntgenbildauswertung zu verdeutlichen:

Anhand der Abbildungen 9a bis 9c wird deutlich, dass mit der Röntgendiagnostik eine Resorption erkannt werden kann, jedoch die Unterscheidung der verschiedenen Stadien der Resorption in einem Gebiet nicht möglich ist. Auf Röntgenbildern ist jedoch im Gegensatz zum histologischen Präparat der absolute Umfang der Resorption erkennbar. Es kann am aktuellen Hartsubstanzniveau der Zahnwurzel der Resorptionsumfang in Millimetern abgelesen werden. Histologisch kann die Resorption in vier Stadien eingeteilt werden: Oberflächenresorption in den Stadien „arrested“ und „active“, Substitutionsresorption und entzündliche Resorption. Abbildung 9c zeigt eine Oberflächenresorption im Stadium „arrested“. Es sind Resorptionslakunen sichtbar. Azellulärer Zement fehlt auf dem Dentin, dessen Oberfläche in der Lakune rau ist. Zudem treten einige Osteoklasten im Desmodontalspalt auf.

Eine Entzündung ist auf dem Röntgenbild als Aufhellung erst ab einem Demineralisierungsgrad von 75 % erkennbar. Unter Umständen ist sogar die Schwere der Entzündung anhand der erkennbaren Ausdehnung ableitbar. Auch nach der Lage (marginal, apikal etc.) lässt sich die Aufhellung einteilen. Abbildung 10a zeigt eine periradikuläre Aufhellung der mesialen Wurzel des Zahnes 47 von Tier A. Die Ursache dieser radiologischen Aufhellung beziehungsweise der Entzündung lässt sich jedoch nur histologisch bestimmen. Histologisch sind bei derselben Wurzel (Abb. 10b) viele kleine Granulozyten erkennbar, die direkt auf dem Wurzeldentin liegen. Einzelne Osteoklasten sind sichtbar. Das Bild Nr. 10b entspricht Code 5, einer entzündlichen Resorption.

Die distale Wurzel des Zahnes 44 von Tier B ist röntgenologisch unauffällig (Abb. 11a). Der Code 1 = „ohne pathologischen Befund“ wird daher zugeordnet. Auch an einzelnen Desmodontsegmenten findet sich ein intaktes Parodont im entsprechenden histologischen Schnitt (Abb. 11b). In unmittelbarer Umgebung treten jedoch am gleichen Dünnschnitt andere histologische Merkmale auf (Abb. 11c): Resorptionslakunen, reichlich Granulozyten, wenig Sharpeysche Fasern, sowie vereinzelte Osteoklasten. Der Kassifizierungsdurchschnitt beträgt hier Code 4, da eine Oberflächenresorption im aktiven Stadium und eine Substitutionsresorption vorliegt (Abb. 11c). Zudem sind in Osteoklasten nachweisbar. Röntgenologisch ist jedoch dieses Gebiet als gesundes Areal (Code 1) bewertet worden.

Die Gegenüberstellung einer Zahnwurzel im Röntgenbild und in der histologischen Darstellung bestätigte den Sachverhalt, dass ein Röntgenbild unkontrollierbar fehlinterpretiert werden kann.



## 5 Zusammenfassung

Die therapeutische Replantation von Zähnen zählt zu den endochirurgischen Eingriffen, wenn alternative Therapiemethoden nicht zum Erhalt des Zahnes oder der Zahnwurzel geführt haben oder aufgrund der bestehenden Risiken (z.B. Gefährdung des Nervus mandibularis bei einer Wurzelspitzenresektion) vom Patienten abgelehnt werden. Im Gegensatz zu Zahnreplantationen, die in Zusammenhang mit einem Trauma stehen, können therapeutische Zahnreplantationen geplant durchgeführt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Vergleich zwischen zwei unterschiedlichen Replantationsmethoden anhand von histologischen Serienschnitten und klinisch erhobenen Röntgenbilder in einer tierexperimentellen Studie an zwei Mantelpavianen durchzuführen.

Die beiden Replantationsarten unterscheiden sich in der extraoralen Phase des Zahnes. In der konventionellen Methodik wird der Zahn in der Extraktionszange bzw. mit den Fingern gehalten und die Wurzelhaut mit Ringerlösung benetzt. In einer von LAUER [81] entwickelten Methodik wird der zu replantierende Zahn atraumatisch in einer speziellen Haltevorrichtung fixiert und dabei die Wurzeln in eine gekühlte, semisoliden Nährlösung [72,81] eingebettet. Es besteht dadurch ein besserer Schutz des Desmodonts vor mechanischen, chemischen und thermischen Noxen während der extraoralen Therapiephase des Zahnes.

Als Versuchsdesign wurde das Split-mouth-design gewählt. Jeder Zahn ist dabei eine Einheit für sich. Dadurch sind die Ergebnisse nicht nur vergleichbar, sondern auch präzise, da sie unter anderem vom Gesundheitszustand des Versuchstieres unabhängig sind.

82 Tage nach dem operativen Eingriff wurden die Versuchstiere geopfert. Vor den Replantationen und vor der Opferung wurden jeweils Röntgenbilder angefertigt.

Die Auswertung der Röntgenbilder war aufgrund von Fehlinterpretationen, die anhand von Vergleichen zu histologischen Präparaten diagnostiziert wurden, nicht zielführend.

Die histologische Aufarbeitung des Zahnhalteapparates erfolgte in axialen Serienschnitten zum Wurzelquerschnitt. In Anlehnung an ANDREASEN [9] wurde der Zustand des Desmodonts in fünf Klassen differenziert.

Der Klassifizierungsdurchschnitt wies bei der modifizierten Replantationsmethode nach LAUER mit einem Wert von 2,42 gegenüber der konventionellen Replantationsmethode mit einem Wert von 3,31 einen signifikant verbesserten Wert auf. Die nach der Lauer-Methode replantierten Zähne heilten besser ein, erreichten jedoch nicht die Vergleichswerte von nicht reimplantierten Zähnen (1,52).

Auch die statistischen Testverfahren im Rahmen einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) zeigen signifikante Unterschiede bei der histologischen Bewertung des Desmodonts. Sowohl die Grundgesamtheit der Klassifizierungsmittelwerte pro Wurzel als auch die Grundgesamtheit der schlechtesten Desmodontbewertung pro Wurzel fallen bei keinem der angewandten Tests durch. Die Verteilung der Klassifizierungsmittelwerte pro Wurzel weist eindeutig auf einen Trend hin. Die innovative Replantationsmethode nach Lauer weist einen besser bewerteten Zustand des Desmodonts auf als bei der konventionellen Replantationsmethode. Die Ernährung, die Kühlung und der Kontaminationsschutz des Desmodonts während der extraoralen Therapiephase scheinen eine erhöhte Überlebensrate der Fibroblastenzelle zu verursachen. Dies führt zu der statistisch signifikant verbesserten Einheilung eines nach Lauer replantierten Zahnes.

## 5 CONCLUSION

### Summary

The therapeutical replantation of the teeth is an endosurgical operation, which is indicated when alternative methods for the preservation of a tooth or tooth root have failed. Other indications are the presence of possible complications, for example the risk of damaging the nervus mandibularis by a root resection, which is therefore denied by the patient.

In contrast to tooth replantation resulting from trauma, the therapeutic tooth replantation execution can be planned.

The goal of the present study is to compare two various methods of replantation. This will be conducted through the comparison of a series of histological crosssections and clinically related x-rays carried out in the animal experimentation on two baboons.

The two methods of reimplantation are differentiated by the extraoral phase of the tooth.

In the conventional method, the tooth is held steady in the forceps or between the fingers and the dental periosteum moistened with saline solution. In a method developed by Lauer (81), the tooth, which is to be replanted, is fixed atraumatically in a special holding device and then bedded in an cooled semisolid nutritive solution (72, 81).

As a result there is a better protection of the desmodont from mechanical, chemical and thermal noxens during the extra oral phase.

The split-mouth-design has been chosen as the experimental design. Every tooth is an individual case. Consequently the results are not only comparative but also precise, since they are independent of the animals health status.

The animals were sacrificed 82 days after the operation. X-rays were taken prior to the operation and prior to the sacrifice.

The evaluation of x-rays in comparison with the histological preparations were not conclusive due to misinterpretation.

The histological assessment of the parodontium was carried out in a series of axial sections to the root crosssection. The condition of the desmodont was divided into five classifications.

The classification average of the modified replantation method Lauer with a value of 2.42, in comparison to the conventional replantation method with 3.31, showed a significantly better result. The teeth, which were replanted by the Lauer method, healed better, but did not achieve the comparative result of non reimplanted teeth (1.52).

Even the statistical test results in the bounds of a one factor variance analysis (ANOVA) show synificant differences in the histological assessment of the desmodont.

Neither the complete classification average per tooth or the complete worst desmodont values failed in the resulting test.

The distributed classification values per root showed a clear trend.

The innovative replantation method Lauer showed a considerably better condition of the desmodont in comparison to the conventional replantation method. The nutrition, the cooling, and the protection from contamination of the desmodont during the extra oral treatment phase seems to result in an increased survival rate of the fibroblast cells. Statistically this lead to the synificantly improved healing of the replanted tooth.

## Literaturverzeichnis

- 1 Aguirre, R., El Deeb, M. E., El Deeb, M.:  
Evaluation of the repair of mechanical furcation perforations using amalgam, guttapercha, or indium - foil.  
J Endod 12, ( 1986 ).
- 2 Andersson, L., Jonsson, B.G., Hammarström, L., Blomlöf, L., Andreasen, J.O., Lindskog, S.:  
Evaluation of statistics and desirable experimental design of a histomorphometrical method for studies of root resorption.  
Endod Dent Traumatol 3, 288 (1987).
- 3 Andersson, L.:  
Effect of masticatory stimulation on dentoalveolar ankylosis after experimental tooth replantation.  
Endod Dent Traumatol 1, 13 (1985).
- 4 Andreasen, J. O.:  
Interrelation between bone and periodontal ligament after replantation of mature permanent incisors in monkeys.  
J Period Res 16, 228 ( 1981 ).
- 5 Andreasen J. O.:  
Relationship between surface and inflammatory resorption and changes in the pulp after replantation of permanent incisors in monkeys.  
J Endod 7, 294 ( 1981 ).
- 6 Andreasen, J. O.:  
Farbatlas der Replantation und Transplantation von Zähnen.  
Deutscher Ärzte Verlag Köln ( 1993 ).
- 7 Andreasen, J.O.:  
The effect of splinting upon periodontal healing after replantation of permanent incisors in monkeys.  
Acta Odontol Scand 33, 313 (1995).
- 8 Andreasen, J.O.:  
A time-related study of periodontal healing and root resorption activity after replantation of mature incisors in monkeys.  
Swed Dent J 4, 101 (1980).
- 9 Andreasen, J.O.:  
Experimental dental traumatology: development of a model for external root resorption.  
Endod Dent Traumatol 3, 269 (1987).
- 10 Andreasen, J.O.:  
Analysis of pathogenesis and topography of replacement root resorption (ankylosis) after replantation of mature permanent incisors in monkeys.  
Swed Dent J 4, 231 (1980).
- 11 Andreasen, J.O.:  
The effect of pulp extirpation or root canal treatment on periodontal healing after replantation of permanent incisors in monkeys.  
J Endodont 7, 245 (1981).
- 12 Andreasen, J.O.:  
Effect of extra-alveolar period and storage media upon periodontal and pulpal healing after replantation of mature permanent incisors in monkeys.  
Int J Oral Surg 10, 43 (1981).
- 13 Andreasen, J.O.:  
Periodontal healing after replantation and autotransplantation of incisors in monkeys.  
Int J Oral Surg 10, 54 (1981).
- 14 Andreasen, J.O.:  
Periodontal healing after replantation of traumatically avulsed human teeth  
Acta Odontol Scand 33, 325 (1975).

- 15     Andreasen, J. O.; Kristerson, L.:  
Repair processes in the cervical region of replanted and transplanted teeth in monkeys.  
Int J Oral Surg, 10, 128 ( 1981 ).
- 16     Andreasen, J. O.; Kristerson, L. :  
The effect of extra - alveolar root filling with calcium hydroxide on periodontal healing after  
replantation of permanent incisors of monkeys.  
J Endod, 7, 349 ( 1981 ).
- 17     Andreasen, J. O.; Schwartz, O.:  
The effects of saline storage before replantation upon dry damage of the periodontal  
ligament.  
Endod Dent Traumatol 2, 67 (1986 ).
- 18     Andreasen, J. O.; Schwartz, O.; Andreasen, F. M.:  
The effect of apicoectomy before replantation on periodontal and pulpal healing in teeth of  
monkeys.  
Int Oral Surg 14, 176 ( 1985 ).
- 19     Axhausen, G.:  
Die histologischen Gesetze der Wiedereinheilung replantierter Zähne.  
Dtsch Zahn Mund Kieferheilk 4, 169 (1937).
- 20     Barbakow, F.; Imfeld, T.:  
Richtlinien bei der Reimplantation bleibender Zähne I.  
Quintessenz 29 ( 1980 ).
- 21     Barbakow, F., Imfeld, T.:  
Richtlinien bei der Reimplantation bleibender Zähne II.  
Quintessenz 41 ( 1980 ).
- 22     Barbakow, F.; Imfeld, T.:  
Richtlinien bei der Replantation bleibender Zähne ( I ).  
Quintessenz 40 ( 1980 ).
- 23     Barbakow, F., Cleaton - Jones P - E.; Austin, J.C; Vieira, E.:  
Effects of thyrocalcitonin, acidulated sodium fluoride, and neutral sodium fluoride on the  
mobility of experimentally replanted teeth.  
J Endod 6, ( 1980 ).
- 24     Barbakow, F.; Cleaton - Jones, P. E. ; Austin, J. C.; Vieira, E.:  
Healing of replanted teeth following topical treatment with fluoride solutions and systemic  
admission of thyreocalcitonin: A histometric analysis.  
J Endod 7, 302 ( 1981 ).
- 25     Bier, J:  
Die Entzündung.  
Dtsch Zahnärztl Z 33: 742 ( 1978 ).
- 26     Blomlöf, L., Andersson, L., Lindskog, S., Hedström, K.-G., Hammarström, L.:  
Periodontal healing of replanted monkey teeth prevented from drying.  
Acta Odontol Scand 41, 117 (1983).
- 27     Bockisch, H.:  
Replantation total luxierter Frontzähne - ein kasuistischer Bericht.  
Stomatol DDR, 499 - 503 (1980 ).
- 28     Boretzky, H:  
Replantation und Transplantation.  
Zahnärztl Praxis, 3, ( 1978 ).
- 29     Briseño, Wichert:  
Moderne Wurzelkanalbehandlung.  
Studienverlag Neumeier ( 1990 ).
- 30     Buchmann, R.; Ham, A. J.; Lange, D. E.:  
Der Einsatz des Periotestverfahrens in der Parodontaldiagnostik - Klinische Studien in  
kritischer Sicht.  
Die Quintessenz 5 Referat Nr 7368 ( 1991 ).

- 31 Buchmann, R.; Lange, D. E.:  
Nachuntersuchungen des Funktionszustandes einwurzeliger Zähne im Oberkiefer nach Lappenoperation unter Verwendung des Periotestverfahrens.  
Dtsch Zahnärztl Z 43, 701 ( 1988 ).
- 32 Bayerisches Zahnärzteblatt 11 / 88, Seite 53 - 54.
- 33 Clauß, G., Ebner, H.:  
Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner - Band 1.  
Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt a. Main (1989).
- 34 Cornelius, C. P.; Ehrenfeld, M.; Umfeld, T.:  
Replantationsergebnisse nach traumatischer Zahnluxation.  
Dtsch Zahnärztl Z 42, 211 ( 1987 ).
- 35 Cvek, M., Cleaton-Jones, P., Austin, J., Kling, M., Lownie, J., Fatti, P.:  
Effect of topical application of doxycycline on pulp revascularization and periodontal healing in reimplanted monkey incisors.  
Endod Dent Traumatol 6, 170 (1990).
- 36 Cvek, M., Cleaton-Jones, P., Austin, J., Kling, M., Lownie, J., Fatti, P.:  
Pulp revascularization in reimplanted immature monkey incisors - predictability and the effect of antibiotic systemic prophylaxis.  
Endod Dent Traumatol 6, 157 (1990).;
- 37 Czonstkowsky, M.:  
Reimplantation.  
J Endod 57, 5 ( 1984 ).
- 38 Dawson-Saunders, B., Trapp, R.G.:  
Basic and Clinical Biostatistics.  
Lange medical book; Prentice-Hall International Inc. (1990).
- 39 Deinzer, A.:  
Iatrogene Schäden durch Replantationen von Zähnen.  
Colloquium med dent, 26 ( 5 ), 263 ( 1982 ).
- 40 Dominic, P.:  
Intentionally replantation of periodontally involved and endodontically mistreated tooth.  
Oral Surg Oral Med Path 61, 508 ( 1986 ).
- 41 Dryden, J.:  
Ten - year - follow - up of intentionally replanted mandibular second molar.  
J Endod 12,( 6 )( 1986 ).
- 42 Dumsha, T.; Gutmann, J.:  
Intentional replantation.  
Compendium of Continuing Education in Dentistry VI, ( 8 ), ( 1985 ).
- 43 Eichner, B.:  
Histomorphometrische Auswertung zweier unterschiedlicher Methoden zur Replantation von Zähnen – eine Pilotstudie am Pavian.  
Dissertationsarbeit (1998)
- 44 Engström:  
Microradiography and Roentgen Microscopy. Encyclopedia of Medical Radiology III  
Springer Verlag ( 1968).
- 45 Eskici, A.:  
Replantation und Transplantation von Zähnen und Zahnkeimen.  
Dtsch Zahnärztl Z 35, 343 ( 1980 ).
- 46 Feldmeier, C.:  
Gelenkflächenersatz mit Silikon - Kautschuk.  
W. Zuckschwerdt Verlag München 1983, 102
- 47 Fuss, Z.:  
Successful self - replantation of avulsed tooth with 42 - year follow - up.  
Endod Dent Traumatol 1, 120 ( 1985 ).

- 48 Geneser, F.:  
Histologie.  
Deutscher Ärzte Verlag Köln ( 1990 ).
- 49 Göngler, P.; Hoyer, I.; Koser, W.; Metzler, E.; Schuder, S.:  
Degeneration und Regeneration des Endodonts und Periodonts als Kopie phylogenetischer  
Zahnentwicklungsmuster.  
Dtsch Zahn Mund Kieferheilk 76, 4 ( 1988 ).
- 50 Goodson, I.; Cugini, M. A.:  
Comparative response of mobile teeth following monolithic fiber therapy or scaling.  
Compend Contin Educ Dent 12, 424 ( 1988 ).
- 51 Gottlieb, B.; Orban, B.:  
Die Veränderungen der Gewebe bei übermäßiger Beanspruchung der Zähne.  
Georg Thieme Verlag Berlin ( 1931 ).
- 52 Guggenmoos - Holzmann, I., Wernecke, K. - D.:  
Medizinische Statistik.  
Blackwell Wissenschafts - Verlag Wien ( 1995 ).
- 53 Ham, A. J.:  
Vergleichende Untersuchung des Periodontometrie - und des Periotestverfahren unter  
Berücksichtigung manueller Beweglichkeitsbefunde.  
Med. Diss. Universität Münster ( 1990 ).
- 54 Hammarström, L.; Blomlöf, L.; Feiglin, B.; Anderson, L.; Lindskog, S.:  
Replantation of teeth and antibiotics treatment.  
Endod Dent Traumatol 2, 51 ( 1986 ).
- 55 Hammarström, L., Pierce, A., Blomlöf, L., Feiglin, B., Lindskog, S.:  
Tooth avulsion and replantation - A review.  
Endod Dent Traumatol 2, 1 (1986).
- 56 Hammer, H:  
Der histologische Vorgang bei der Zahnreplantation nach Vernichtung der Wurzelhaut.Dtsch  
Zahn Mund Kieferheilk 4, 179 ( 1937 ).
- 57 Hammer, H:  
Die Zahnrückverpflanzung:  
Dtsch Zahnärztl Z 5, 637 ( 1950 ).
- 58 Hartung, J., Elpelt, B., Klösener, K.-H.:  
Statistik - Lehr und Handbuch der angewandten Statistik.  
R. Oldenbourg Verlag München Wien (1991).
- 59 Henrichvark, C.; Neukam, F. W.:  
Indikation und Ergebnisse der autogenen Zahntransplantation.  
Dtsch Zahnärztl Z 42, 194 ( 1987 ).
- 60 Heyerass, K.; Myking, A.:  
Pulpal blood flow in immature permanent dog teeth after replantation.  
Scand J Dent Res 93, 223 ( 1985 ).
- 61 Hoffmann - Axthelm:  
Lexikon der Zahnmedizin.  
Quintessenz - Verlag Berlin ( 1983 ).
- 62 Johnson, W.; Goodrick, J.; Thomas, G.:  
Replantation of avulsed teeth with immature root development.  
Oral Surg 60, 4, ( 1985 ).
- 63 Khoury, F.:  
Die Spättransplantation von Weisheitszähnen.  
Dtsch Zahnärztl Z 41, 1061 ( 1986 ).
- 64 Kiernan, J. A.:  
Histological and histochemical methods - Theory and practice.  
Second Edition, Pergamon Press ( 1990 ).

- 65 Kirschner, H.; Bolz, U.; Enemoto, S.; Hüttemann, R. W.; Meinel, W.; Sturm, J.:  
Eine neue Methode kombinierter auto - alloplastischer Zahnreplantation mit partieller Al2 O3 - Keramikwurzel.  
Dtsch Zahnärztl Z 33, 594, ( 1978 ).
- 66 Kling, M.; Cvek, M.; Mejare, I.:  
Rate and predictability of pulp vascularisation in therapeutically reimplanted permanent incisors.  
Endod Dent Traumatol 3, 83 ( 1986 ).
- 67 Kocher, T.; Plagmann, H. - C.; Hein, R.; Brennicke, C.:  
Über den Einsatz des Periotestgerätes zur Früherfassung experimentell erzeugter parodontaler Veränderungen.  
Dtsch Zahnärztl Z 44, 493 ( 1989 ).
- 68 Krenkel, C.; Grunert, I.:  
Replantierte nicht endodontisch behandelte Frontzähne mit offenen Foramen apicale.  
Zahnärztl Praxis 8, 290 ( 1986 ).
- 69 Krüger, E.:  
Operationslehre für Zahnärzte.  
Quintessenz Verlag Berlin ( 1989 ).
- 70 Lagerström, L.; Kristerson, L.:  
Influence of orthodontic treatment on root development of autotransplanted premolars.  
Am J Orth, 89 ( 2 ), ( 1986 ).
- 71 Lauer, H. Chr.:  
Die Replantation von Zähnen.  
ZWR 93, 488 ( 1984 ).
- 72 Lauer, H. Chr.:  
In - vitro - Studien zur Replantation von Zähnen.  
Habilitationsschrift Ludwig - Maximilians - Universität München (1986)
- 73 Lauer, H.-Ch.:  
Die Replantation von Zähnen.  
Zahnärztl Welt 93, 488 (1984).
- 74 Lauer, H.-Ch.:  
Eine Vorrichtung zur extraoralen Präparation von Zähnen für die Replantation.  
Dtsch Zahnärztl Z 39, 887 (1984).
- 75 Lauer, H.-Ch.:  
Vorrichtung zur extraoralen Präparation von Zähnen.  
Patentschrift DE 3 40 45 94 C1, Deutsches Patentamt 1985.
- 76 Lauer, H. Chr.:  
Temperaturänderungen an der Wurzelhaut bei extraoraler Präparation von Molaren für die Replantation.  
Dtsch Zahnärztl Z 39, 887 (1984).
- 77 Lauer, H.-Ch., Groß, J.:  
Die therapeutische Replantation von Zähnen - Zellbiologische Grundlagen und ihre klinische Relevanz.  
Phillip J 7, 75 (1990).
- 78 Lauer, H. Chr.; Kraft, E.:  
Reimplantation weiter im Blickpunkt.  
Zahnärztl Mitt 77, 232, 235 ( 1987 ).
- 79 Lauer, H.-Ch., Müller, J.:  
In-vitro-Züchtung von Zellen des Desmodontalgewebes.  
Dtsch Zahnärztl Z 41, 1131 (1986).



- 80 Lauer, H.-Ch., Müller, J.:  
Untersuchungen zur oberen kritischen Grenztemperatur von Desmodontal-Fibroblasten.  
Dtsch Zahnärztl Z 42: 142 (1987).
- 81 Lauer, H.-Ch., Müller J., Gross, J., Horster, M.F.:  
The effect of storage media on the proliferation of periodontal ligament fibroblasts.  
J Periodont 58, 481 (1987).
- 82 Lauer, H.-Ch., Weigl, P.:  
Zahnverlust und seine Auswirkungen auf das stomatognathe System.  
Phillip J 7, 199 (1990).
- 83 Lindskog, S.; Pierce, A.; Blomlöf, L.; Hammarström, L.:  
The role of the necrotic periodontal membrane in cementum resorption and ankylosis.  
Endod Dent Traumatol 1, 96 ( 1985 ).
- 84 Lippert, H.:  
Die medizinische Dissertation.  
3. Auflage, Urban und Schwarzenberg Verlag München Wien Baltimore (1989).
- 85 Loeck, M.; Becker, J.; Reichard, P.:  
Zur Problematik des apikalen Verschlusses bei therapeutischen Replantationen.  
Dtsch Zahnärztl Z 42, 202 ( 1987 ).
- 86 Lyon, H.; Anderson, A. P.; Hasselager, E.; Hoyer, P. E.; Moller, M.; Prento, P.; van Deurs, B.:  
Theory and strategy in histochemistry - a guide to the selection and understanding of techniques.  
Springer Verlag ( 1991 ).
- 87 Madison, S.:  
Intentional replantation.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 62 (6), 743 (1986).
- 88 Matson, L.; Klinge, B.; Hallström, H :  
Effect on periodontal healing of saline irrigation of the tooth socket before replantation.  
Endod Dent Traumatol 3, 64 ( 1987 ).
- 89 Melev, J.:  
Die Vorteile des Co2 - Laserstrahls bei vorsätzlich geplanter Replantation / Implantation.  
Laser in medicine and surgery 3, 240 ( 1986 ).
- 90 Messkoub, M.:  
Intentional replantation: A successful alternative for hopeless teeth.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 71, 743 (1991).
- 91 Meyer - Bardowicks, J.:  
Zur Problematik von Frontzahnreplantationen.  
Quintessenz 2, ( 1988 ).
- 92 Müller, J.; Lauer, H. Chr.:  
Desmodontal - Fibroblasten in vitro: Primärkultur und Passage der Zellen.  
Dtsch Zahnärztl Z 42, 76 ( 1987 ).
- 93 Müller, O.:  
Pathohistologie der Zähne.  
Benno Schwabe und Co Verlag Basel ( 1948 ).
- 94 Nasjleti, C.E., Caffesse, R.G., Castelli, W.A., Hoke, J.A.:  
Healing after tooth reimplantation in monkeys.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 39, 361 (1975).
- 95 Nentwig, G.H.:  
Die Reimplantation traumatisch luxierter Zähne unter Verwendung zylinderförmiger Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -  
Keramikstifte.  
Schweiz. - Mschr. - Zahnmed. 96, Nr. 11986, 300 ( 1986 ).

- 96 Nentwig, G. H.; Berbecariu, Ch.; Saller, S.:  
Zur Prognose des replantierten Zahnes nach schweren Luxationsverletzungen.  
Dtsch Zahnärztl Z 42, 194 ( 1987 ).
- 97 Neukam, F. W.; Reumann, K.; Schiephake, H:  
Experimentelle Untersuchung zur Bestimmung der Wurzelhautschädigung von  
Zahntransplantationen.  
Dtsch Zahnärztl Z 42, 186 ( 1987 ).
- 98 Nosonowitz, D.M., Stanley, H.R.:  
Intentional replantation to prevent predictable endodontic failures.  
Oral Surg 57, 423 (1984).
- 99 Plenk, H.:  
Knochengewebe und Zähne.  
Mikroskopische Technik ( Romeis ), 17. Auflage, Urban und Schwarzenberg, München Wien  
Baltimore ( 1989 ).
- 100 Rahn, B. A.:  
Die polychrome Sequenzmarkierung.  
Habilitationsschrift, Albert - Ludwigs - Universität, Freiburg ( 1976 ).
- 101 Rieger, Th.:  
Vergleich verschiedener Auswertungsmethodiken bei der Erprobung zweier  
Replantationsmethoden für Zähne im Tierversuch – eine Pilotstudie am Pavian.  
Dissertationsarbeit (1998)
- 102 Romeis :  
Mikroskopische Technik.  
17. Auflage, Urban und Schwarzenberg München Wien Baltimore ( 1989 ).
- 103 Sadjak,A.; Pfrugner, R.; Klingenberg, H. G.; Eskici, E.; Tilz, G. P.:  
Antibody determination in homologous tooth transplants.  
Exp Path 22, 253 ( 1982 ).
- 104 Schering:  
Lexikon der Radiologie.  
Ueberreuter Wissenschaft Verlag ( 1989 ).
- 105 Schneider, H.:  
Konservierende Zahnheilkunde.  
Appolonia Verlag 3. Auflage ( 1990 ).
- 106 Schwartz, O.:  
Cryopreservation as long - term storage of teeth for transplantation or replantation.  
Int Oral Maxillofac Surg 15, 30 ( 1986 ).
- 107 Seeger, P.; Tetsch, P.:  
Tierexperimentelle Untersuchungen zur Regeneration genormter Knochendefekte bei  
unterschiedlichen Kühlverfahren.  
Dtsch Zahnärztl Z 33, 870 ( 1978 ).
- 108 Sommermeier, A.:  
Möglichkeiten der extraoralen Fixierung des Replantates.  
Die Quintessenz 10, 1785 ( 1986 ).
- 109 Sperling, I.; Itzkowitz, D.; Kaufmann, A.; Bindermann, I.:  
A new treatment of heterotransplanted teeth to prevent progression of root resorption.  
Endod Dent Traumatol 2, 117 ( 1986 ).
- 110 Spiller, R.; Harrington, M.:  
Gemination of a maxillary permanent central incisors treated by autogenous transplantation  
of a supernumerary incisor : Case report.  
Pediatric Dentistry 8, ( 4 ), ( 1986 ).
- 111 Stopp, M., Groß, J., Lauer, H.-Ch.:  
Protein content in rabbit peridental ligament fibroblasts during growth in culture.  
Cell Biol Int Rep 13, 385 (1989).

- 112 Thomas, C.:  
Histopathologie.  
Schattauer Verlag ( 1992 ).
- 113 Toutenburg, H., Toutenburg, S., Walther, W.:  
Datenanalyse und Statistik für Zahnmediziner.  
Carl Hanser Verlag München Wien (1991).
- 114 Troest, T.:  
Form und Funktion im stomatognathen System.  
Praxis der Zahnheilkunde Band 8, 3. Auflage, Urban und Schwarzenberg München Wien  
Baltimore ( 1995 ).
- 115 Wiesmann:  
Medizinische Mikrobiologie.  
5. Auflage, Verlag Thieme Stuttgart New York ( 1982 ).
- 116 Will, R.:  
Konservierungsmöglichkeiten für explantierte oder traumatisch verlorene Zähne.  
Quintessenz 35, ( 1984 ).
- 117 Will, R.:  
Messung von Tastsensibilität, Druckperzeption und Zugbelastung an replantierten und nicht  
explantierten Zähnen.  
Quintessenz 11, ( 1985 ).
- 118 Will, R.:  
Replantation - Das Wiedereinsetzen von Zähnen.  
Quintessenz - Verlag, Berlin ( 1983 ).

## Anhang

**Zusammensetzung des Nährmediums  $\alpha$ -MEM:** **$\alpha$  - Minimum Essential Medium (  $\alpha$  - MEM )**

( Gibco / BRL - Bethesda Research Laboratories, England)

Anorganische Salze

Durch diese anorganischen Salze werden Plasmaisotonie und physiologischer pH  
- Wert eingestellt.

	<b>mg / l im <math>\alpha</math> - MEM</b>
Cl Cl <sub>2</sub>	200,00
K Cl	400,00
Mg SO <sub>4</sub> x 7 H <sub>2</sub> O	200,00
Na Cl	6800,00 für Isotonie
Na H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	140,00
Na H CO <sub>3</sub>	2200,00 für Pufferkapazität

Aminosäuren

	<b>mg / l im <math>\alpha</math> - MEM</b>
L - Alanin	25,00
L - Arginin	105,00
L - Aspargin x H <sub>2</sub> O	25,00
L - Asparaginsäure	30,00
L - Cystin	24,00
L - Cystin HCl x H <sub>2</sub> O	100,00
L - Glutaminsäure	75,00
L - Glutamin	292,00
Glycin	50,00
L - Histidin	31,00
L - Isoleucin	52,00
L - Leucin	52,00
L - Lysin HCl	73,00
L - Methionin	15,00
L - Phenylalanin	32,00
L - Prolin	40,00
L - Serin	25,00
L - Threonin	48,00
L - Thyptophan	10,00

L - Tyrosin	36,00
Valin	46,00

### Vitamine

	<b>ml / l in <math>\alpha</math> - MEM</b>
L - Ascorbinsäure	50,00
Biotin	0,10
D - Ca - Pantothenat	1,00
Cholinclorid	1,00
Folsäure	1,00
I - Inosit	2,00
Nicotinsäureamid	1,00
Pyridoxal HCl	1,00
Riboflavin	0,10
Thiamin HCl	1,00
Thioctsäure	0,20
Vitamin B 12	1,40

### andere Komponenten

	<b>ml / l in <math>\alpha</math> - MEM</b>
Glukose ( Energie )	1000,00
Natriumpyruvat ( Energie )	110,00
Phenolrot ( Farbstoff )	10,00

### Antibiotikazusätze

Antibiotika dienen zur Hemmung und Abtötung von Bakterien, Pilzen und Protozoen.

Penicillin	100 I. U./ ml
Streptomycin	100 $\mu$ g / ml

## Curriculum Vitae

Geburtsort: Weingarten  
 Gebursdatum: 03.10.66  
 Staatsangehörigkeit: deutsch

### Schulbildung:

1972 – 1976	Grundschule in Aulendorf
1976 – 1985	Gymnasium in Aulendorf mit Abitur 1985
1985 – 1986	Studium Spanisch/Romanistik an der LMU München
1987 – 1993	Studium der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität München
ab 1993	Postgraduierten Ausbildung
1993 – 1996	Assistenz Zahnärztliche Tätigkeit in allgemeinzahnärztlicher Privatpraxis
1996	Gründung einer Privatpraxis in Memmingen/Bayern, mit Dr. Th. Rieger
1997	Heirat mit Dr. Thomas Rieger
1997	Vorsitzende des „Zahnarztforum Bessererhaus“ Fortbildung für Zahnärzte und Zahnarzthelferinnen
seit 2000	Fachlehrerin für Zahnheilkunde / Berufsschule, Abschlussklasse
seit 2002	Prüfungsausschuss der Berufsschule, 1. Vorsitzende

### Mitgliedschaften:

- Zahnärztlicher Arbeitskreis Kempten
- Deutsche Gesellschaft für computerrestaurative Zahnheilkunde
- Gründungsmitglied Identiti 10, Vereinigung fortbildungsorientierter und innovativer Zahnärzte
- „Ärzte ohne Grenzen“

### **Wissenschaftliche Arbeiten:**

- Coautorin „Endodontie Einfach Erfolgreich“
- Fall-Verlaufsstudie endodontisch behandelter Zähne (eine der grössten Studien in der Endodontie) zusammen mit Dr. Th. Rieger
- Langzeitstudie postendodontisch versorgter Zähne mit und ohne Wurzelstift (Studie kurz vor Veröffentlichung)

### **Vorträge und Kurse:**

Vorträge an internationalen Kongressen wie

- Europäisches Endodontie-Symposium (als einzige deutsche Privatpraktiker)
- Österreichischer Zahnärzte-Kongress
- Bayer. – Österreichischer Zahnärztetag

Fortbildungsreferentin der Zahnärztekammern Bayern und Baden-Württemberg

ca. 40 Kurse (praktische Arbeitskurse) für Zahnärzte im Fach Endodontie.

ca. 10 Kurse für Zahnarzhelferinnen

Vorlesungen an der Universität Würzburg sowie für die Firmen Lightspeed und VDW

Patientenvorträge zu den Themen:

- Implantologie
- Endodontie
- Parodontologie

### **Behandlungsschwerpunkte:**

- Zertifizierung für kieferorthopädische Behandlung „invisalign“
- ästhetische Zahnheilkunde
- Endodontie mit Mikroskop
- Parodontologie
- Ästhetische Chirurgie
- Gnathologie (Kaufunktion, Kiefergelenke u. a.)
- Kinderzahnheilkunde

## Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Lauer für die Überlassung dieser Doktorarbeit. Herrn OA Dr. Paul Weigl möchte ich ein Dankeschön für die fachlich hervorragende Betreuung aussprechen.

Frau Andrea Stolp-Weingarten danke ich für die freundschaftliche Zusammenarbeit.

Bei meinem Ehemann Dr. Thomas Rieger möchte ich mich bedanken für die mentale Unterstützung bei meiner Dissertationsarbeit. Meiner lieben Mutter sei Dank für meine gesamte Ausbildung, die sie mir selbstlos ermöglicht hat.



## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der  
Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main zur  
Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel:

**Modifizierte Methodik der Zahnreplantation:  
Histologische und röntgenologische Ergebnisse  
am Tiermodell**

im Zentrum der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Carolinum) unter der Leitung  
von Herrn Prof. Dr. H.-Ch. Lauer und Betreuung von Herrn Dr. P. Weigl ohne  
sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen  
als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Medizinischen Fakultät bzw.  
Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die  
vorliegende Arbeit oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt am Main, den 03.03.2004

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Johann Lauer', is written over a faint, light blue horizontal line.